

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

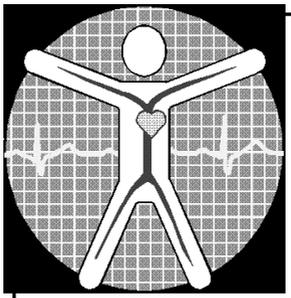
**ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина»**

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ, МЕДИЦИНСКИЕ
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ,
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ**

БИОМЕДСИСТЕМЫ – 2022

**XXXV ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ**

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ



Рязань 2022

УДК 615.47:621.37/89

Б 63

Б 63 Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2022 [текст]: сб. тр. XXXV Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 7-9 декабря 2022 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 484 с., ил.

ISBN 978-5-907568-48-8

Сборник включает материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы» (Биомедсистемы – 2022). Освещаются вопросы обработки биомедицинской и экологической информации, применения измерительно-вычислительных комплексов в медицине и экологии, автоматизации сбора данных о развитии болезни и состоянии здоровья больных, разработки систем и устройств воздействия на биологические объекты, а также информационно-измерительные устройства и робототехнические комплексы.

Авторская позиция и стилистические особенности публикаций сохранены.

Члены оргкомитета: Чиркин М.В. – председатель, ректор РГРТУ, д.ф.-м.н., профессор; Мельник О.В. – зам. председателя, д.т.н., профессор; Жулев В.И. – зав. кафедрой ИИБМТ, д.т.н., профессор; Михеев А.А. – д.т.н., профессор; Прошин Е.М. – д.т.н., профессор; Чернов Е.И. – д.т.н., профессор; Борисов А.Г. – к.т.н., доцент; Голь С.А. – к.т.н., доцент; Гуржин С.Г. – к.т.н., доцент; Каплан М.Б. – к.т.н., доцент; Устинова Л.С. – начальник отдела информационного обеспечения; Трубицына С.Г. – ведущий инженер НИОКР ОИО; Матюхин Е.П. – специалист по обеспечению образовательного процесса кафедры ИИБМТ, секретарь оргкомитета.

УДК 615.47:621.37/89

ISBN 978-5-907568-48-8

© ФГБОУ ВО «РГРТУ», 2022

© ИП Коняхин А.В., 2022

УДК 681.518.3

СИСТЕМА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КАРАВАННОГО ВОЖДЕНИЯ

Е.А. Захарова, С.А. Голь

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрен принцип построения информационно-измерительной системы, позволяющей определить положение ведущего относительно ведомого транспортного средства в составе автономного каравана.

Ключевые слова: автономный караван, робототехнический комплекс, ультразвуковой датчик, модифицированный алгоритм сглаживания Рауха-Тунга-Штрубеля.

A SYSTEM FOR IMPLEMENTING CARAVAN DRIVING

E.A. Zakharova, S.A. Goll

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The principle of building an information-measuring system to determine the position of the leader relative to the slave vehicle as part of an autonomous caravan is considered.

Key words: automated convoy, robotics complex, ultrasonic transducer, modified Rauch-Tung-Strubel smoothing algorithm.

Востребованность в автономных транспортных средствах (ТС) значительно увеличилась за последние несколько десятилетий. С каждым годом возрастает степень автономизации ТС, однако полностью автономные ТС до сих пор являются только исследовательскими проектами. Образцы подобных робототехнических комплексов существуют в единичных экземплярах, и выпуск полностью автономных ТС в серии редкость. Объясняется это колоссальной вычислительной сложностью и текущим развитием математического аппарата искусственного интеллекта, недостаточным для надежного функционирования полностью автономного робота в течение длительного времени. В свою очередь телеуправляемые ТС и ТС, оснащенные системами помощи водителю, повсеместно используются как в военных целях, промышленности, так и в быту. Широкое развитие и применение получили системы, позволяющие робототехническому комплексу автономно выполнять определенный набор действий на некотором участке территории. Ярким примером реализации подобного сценария работы является использование робототехнических комплексов для транспортировки грузов в составе автономного каравана на закрытых и открытых территориях. Указанный сценарий предполагает движение ведомого ТС по траектории, максимально приближенной к траектории движения ведущего, в качестве которого может выступать другое автономное ТС, ТС под управлением оператора или человек. Спектр возможных

участников автономного каравана довольно внушителен: от крупногабаритных ТС, используемых на дорогах общего пользования, до небольших мобильных роботов, применяемых в быту. Применимость указанного сценария работы объясняется тем, что используемый математический аппарат достаточно упрощен по сравнению с полностью автономными ТС, поскольку траектория движения ведомого зависит в большей степени от траектории движения лидера, чем от конечной точки назначения. Таким образом, корректируя движение лидера, можно исключить труднопроходимые участки дороги или статические препятствия для ведомого ТС [1].

Существует множество подходов к построению подобного рода систем. По типу используемых датчиков существующие системы слежения за ведущим можно классифицировать следующим образом:

- системы, основанные на глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС), таких как ГЛОНАСС, GPS, BeiDou и т.д. [3, 4];
- системы, основанные на камерах видимого и инфракрасного диапазона [5, 6];
- системы, основанные на лазерных сканерах [7, 8];
- системы, основанные на ультразвуковых датчиках [9];
- системы, основанные на использовании радиосигналов и направленных антенн [10];
- системы, основанные на комплексировании разных типов датчиков [2].

Системы, основанные на разных типах датчиков, имеют несомненное преимущество, поскольку с увеличением количества используемых типов датчиков разной физической природы увеличивается точность и надежность оценки положения лидера каравана по отношению к ведомому ТС. Однако с ростом количества датчиков возрастает вычислительная и алгоритмическая сложность, а также стоимость конечной системы. Зачастую цена подобной системы сопоставима со стоимостью всего ведомого ТС, что снижает его коммерческую привлекательность. Примером подобной системы является система TerraMax, разрабатываемая компанией Oshkosh Defense [2] (0).

Системы, использующие один тип датчика, имеют сравнительно низкую стоимость и просты в эксплуатации, что послужило причиной их широкого распространения. Однако подобные системы не лишены своих недостатков, определяющих конкретную область применения.



Рис. 1 – Испытания автономного тягача Oshkosh PLS M1075A1, оснащенного системой слежения за ведущим

Так, например, основным достоинством систем, основанных на ГНСС приемниках, является отсутствие необходимости прямой видимости между лидером и ведомым. Они могут быть разделены друг от друга сотнями метров, в зависимости от дальности работы радиосвязи между ними. К тому же дифференциальные методы улучшают точность оценки взаимного положения между ТС, позволяя ведомому ТС двигаться максимально приближенно к траектории движения лидера. Однако в урбанизированной местности, городских каньонах, подземных туннелях, на закрытых территориях предприятий оценка положения ГНСС-приемника сильно искажена возникающими из-за неблагоприятной обстановки эффектами, либо вовсе отсутствует. Комплексование ГНСС-приемника с бортовой инерциальной навигационной системой (ИНС) автономного ТС позволяет сгладить негативные эффекты на некоторый промежуток времени, однако из-за дрейфа оценки положения ИНС, со временем ее точность снижается. Таким образом, долгое нахождение ведущего и ведомого ТС в условиях отсутствия видимости спутников ГНСС серьезно ухудшает работу комплекса.

В системах, использующих видеокамеры или лазерные сканеры, сильное увеличение расстояния между лидером и ведомым приводит к ухудшению точности, поскольку пропорционально расстоянию снижается количество пикселей, относящихся к ведущему на изображении, в случае использования видеокамеры, или количество измерений дальности лазерного сканера из-за конечной разрешающей способности устройств. Помимо этого на камеры видимого света существенное влияние оказывает степень освещенности интересующего объекта. Во время осадков изображение с камер и вовсе может стать не пригодным для идентификации лидера. Влияние осадков на лазерные сканеры отражается в увеличении степени зашумленности, поскольку в этом случае облако точек будет содержать в себе большое количество объектов, соответствующих типу осадков.

В системах, основанных на ультразвуковых и радиосигналах, используются активные метки. Зачастую они имеют небольшие массогабаритные показатели и удобны в эксплуатации. Но для работы этого типа меток необходим внешний источник питания. Радиус действия метки, и, следовательно, максимально возможная дистанция между ведущим и ведомым ТС, зависит от мощности испускаемого излучения и в большинстве случаев исчисляется десятками метров.

Большим спектром достоинств обладают ультразвуковые датчики. В отличие от камер и лазерных сканеров на ультразвуковые датчики не влияет цвет, прозрачность, текстура лидера, их можно использовать в условиях полного отсутствия освещенности, в темных помещениях, туннелях или ночью. Ультразвуковые датчики не подвержены воздействию пыли, дыма и тумана. Основным недостатком подобных систем является радиус работы, исчисляемый метрами и десятками метров. Однако именно на таких расстояниях до ведущего предъявляются повышенные требования к точности оценки положения для осуществления сложного маневрирования ТС. С увеличением расстояния между ведомым и ведущим ТС требования к точности резко падают, поскольку основной задачей ведомого ТС является достижение определённой дистанции до лидера.

На рисунке (2) представлен опытный образец и пример его размещения на двух мобильных роботах типа «Вомбат» информационно-измерительной системы, основанной на комбинации ультразвуковых датчиков, позволяющих получить точную оценку взаимного положения в 20-метровой зоне, с ГНСС-модулем, позволяющим получить оценку взаимного положения лидера и ведомого на больших дистанциях.



Рис. 2 – Система слежения за ведущим: а – активный маяк, б – модуль приема ультразвукового сигнала, в – модуль синхронизации и сбора данных, г – пример размещения системы на двух мобильных роботах типа «Вомбат»

Система включает в себя активный ультразвуковой маяк, размещаемый на ведущем и пространственную решетку модулей приема ультразвукового сигнала, закрепляемую на ведомом ТС. Через равные промежутки времени маяк испускает ультразвуковую волну и одновременно с этим передает сигнал синхронизации модулю синхронизации и сбора данных по радиосвязи. Каждый из ультразвуковых приемников измеряет временной интервал с момента прихода сигнала синхронизации до момента прибытия ультразвуковой волны. Указанные временные интервалы пропорциональны расстояниям от маяка до каждого МП [11].

Для определения оценки положения маяка необходимо решить систему нелинейных уравнений, которая может быть преобразована к линейному виду путем комбинации всех разностей квадратов расстояний. Существует несколько подходов к решению подобных нелинейных и линейных систем, например, расширенный фильтр Калмана, ансцентный фильтр Калмана, фильтр частиц, метод наименьших квадратов, фильтр Калмана, а также метод сглаживания Рауха-Тунга-Штрибеля, применяемые совместно с фильтром Калмана.

В работе [1], показано, что алгоритм сглаживания Рауха-Тунга-Штрибеля продемонстрировал наилучшие результаты. Алгоритм сглаживания является рекурсивным, однако рекурсия, в отличие от фильтра Калмана, развивается в обратном направлении, начиная от текущего положения маяка и заканчивая последней точкой, в которую необходимо попасть ведомому ТС, чтобы повторить траекторию движения ведущего. Указанный алгоритм был модифицирован таким образом, что количество используемых оценок вектора состояния и матрицы ковариации состояния фильтра Калмана варьируется и зависит от текущего взаимного положения ведущего и ведомого ТС, что обусловлено характером поставленной задачи. Поскольку дисперсия распределения варьируется и зависит от расстояния между лидером и ведомым, при реализации фильтра Калмана оценка матрицы ковариации шума измерений вычисляется на каждой итерации цикла измерений с использованием оценки матрицы ковариации невязки измерений. Линейный характер системы позволяет использовать на этапе инициализации в качестве начального вектора координат ультразвукового маяка псевдорешение системы, что позволяет избежать длительного переходного процесса.

При оценке координат ультразвукового маяка используются структурные параметры системы, такие как координаты расположения ультразвуковых приемников в локальной системе координат ведомого ТС. При размещении пространственной решетки на ведомом ТС проводится процедура автоматизированной калибровки, позволяющая определить эти параметры в автоматическом режиме с использованием образцового лидера [12].

На рисунке 3 сплошной линией представлена восстановленная траектория движения лидера каравана с помощью модифицированного алгоритма сглаживания Рауха-Тунга-Штрибеля после проведения процедуры

калибровки в двумерном и трехмерном пространстве. Для сравнения приведены образцовая траектория движения, полученная с помощью лидара и выделенная коротким пунктиром, и восстановленная траектория движения лидера каравана с помощью модифицированного алгоритма сглаживания Рауха-Тунга-Штрибеля до проведения процедуры калибровки также в двумерном и трехмерном пространстве. Для каждой из восстановленных траекторий приведены погрешности измерения в виде расстояний между оценкой траектории маяка и образцовой траекторией на плоскости и в пространстве, полученные в динамическом режиме работы системы. Как видно из рисунка, процедура автоматизированной калибровки позволила существенно увеличить точность оценки положения и траектории движения маяка.

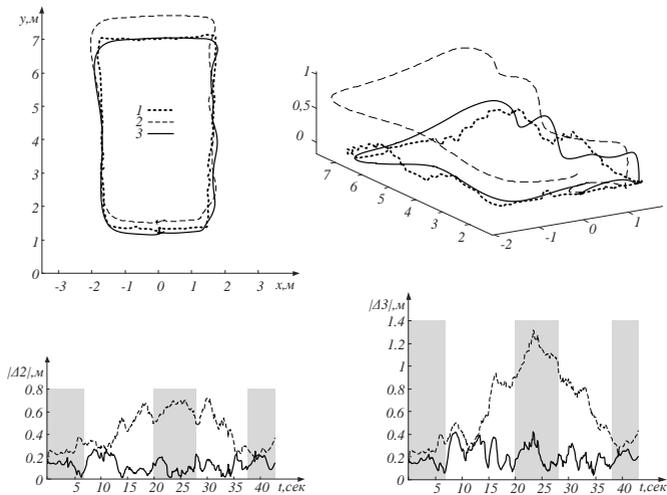


Рис. 3 – Оценка траектории маяка и погрешность в динамическом режиме работы, 3×6 м: 1 – образцовая траектория движения маяка, 2 – траектория движения маяка, вычисленная до проведения процедуры калибровки, 3 – траектория движения маяка, вычисленная после проведения процедуры калибровки

Система слежения за ведущим прошла апробацию на многочисленных робототехнических испытаниях, во время которых устанавливалась на различные платформы. Некоторые из платформ представлены на рисунке 4.



Рис. 4 – Размещение системы слежения за ведущим на робототехнических платформах: мобильный робот типа «Вомбат», отладочная мобильная платформа с четырьмя независимыми поворотными ведущими мотор-колесами, робототехнический комплекс МАРС А-800

Заключение

Проведенные испытания показали, что существенное влияние на точность воспроизведения ведомым ТС траектории движения лидера каравана оказывает не только система слежения за ведущим, но и система локализации и позиционирования робота, а также алгоритм управления движением робота и его характеристики, связанные с механическим исполнением, такие как маневренность или геометрический размер. В качестве будущего развития проекта планируется модифицировать используемый алгоритм комплексирования измерительных данных ультразвукового канала с измерительными данными ГНСС-модуля, а также решить проблему взаимного влияния нескольких систем, возникающую при масштабировании технологии на несколько ведомых ТС.

Библиографический список

1. S Goll, E Zakharova. An active beacon-based leader vehicle tracking system // Acta IMEKO. №. 4. (8). С. 33-40. 2019.
2. Braid D., Broggi A., Schmiedel G. The TerraMax autonomous vehicle // Journal of Field Robotics. – 2006. – Т. 23. – №. 9. – С. 693-708.

3. Travis W., Martin S., Bevy D. M. Automated short distance vehicle following using a dynamic base RTK system // International journal of vehicle autonomous systems. – 2011. – Т. 9. – №. 1-2. – С. 126-141.
4. Soon B. K. H. et al. An approach to aid INS using time-differenced GPS carrier phase (TDCP) measurements // Gps Solutions. – 2008. – Т. 12. – №. 4. – С. 261-271.
5. Zhang L. et al. Vision-based leader vehicle trajectory tracking for multiple agricultural vehicles // Sensors. – 2016. – Т. 16. – №. 4. – С. 578.
6. Yang T. et al. A Leader-following Method Based on Binocular Stereo Vision For Quadruped Robots // 2019 IEEE 9th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). – IEEE, 2019. – С. 677-682.
7. Kim J., Jeong H., Lee D. Single 2D lidar based follow-me of mobile robot on hilly terrains // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2020. – Т. 34. – №. 9. – С. 3845-3854.
8. Choi J. et al. Multi-target tracking using a 3d-lidar sensor for autonomous vehicles // 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013). – IEEE, 2013. – С. 881-886.
9. Ningrum E.S., Hakkun R.Y., Alasiry A.H. Tracking and formation control of leader-follower cooperative mobile robots based on trilateration data // EMITTER International Journal of Engineering Technology. – 2015. – Т. 3. – №. 2. – С. 88-98.
10. Ghosh P., Tran J.A., Krishnamachari B. ARREST: A RSSI based approach for mobile sensing and tracking of a moving object // 2017 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). – IEEE, 2017. – С. 1-6.
11. Захарова Е.А. Структура информационно-измерительного комплекса определения взаимного положения ведущего и ведомого транспортного средства и его калибровка // Интеллектуальные системы в производстве. №1 (20). С. 13-21. 2022.
12. S Goll, E Zakharova. Calibration Procedure for the Beacon-based Tracking System to be used for Mobile Robot Convoying // 2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). IEEE. С. 1-5. 2019.

УДК 004.93'1, 159.942.33

ТЕХНОЛОГИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МИКРОЛИЦЕВЫХ ДВИЖЕНИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИСТИННЫХ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА

В.А. Саблина

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрена проблема подавления эмоций, а также возможные негативные последствия этого процесса для здоровья человека. Обоснована возможность выявления подавленных эмоций по микровыражениям лица. Подробно рассмотрены основные этапы технологии обнаружения микролицевых движений гибридными методами. Результаты каждого этапа проиллюстрированы с помощью программного конвейера, разработанного при проведении предыдущего исследования.

Ключевые слова: анализ микровыражений, обнаружение микролицевых движений, спонтанные действия и микродвижения, эмоциональное состояние, гибридные методы, антропометрические точки лица, система кодирования лицевых движений.

MICRO-FACIAL MOVEMENT DETECTION TECHNOLOGY FOR REVEALING TRUE HUMAN EMOTIONS

V.A. Sablina

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The problem of repressing emotions and its possible negative consequences for the health are considered. The possibility of revealing repressed emotions from facial micro-expressions is justified. The main stages of the technology of the micro-facial movement detection by hybrid methods are considered in details. Each stage results are illustrated using the software pipeline developed in the previous research.

Key words: micro-expression analysis, micro-facial movement detection, spontaneous actions and micro-movements, emotional state, hybrid methods, facial landmarks, facial action coding system.

1 Введение

Истинные эмоции человека можно обнаружить путем анализа выражений лица, которые могут различаться по силе и продолжительности. Явные и продолжительные называются макровыражениями, а неуловимые и короткие называются микровыражениями. Микровыражения длятся менее половины секунды и отражают скрытые эмоции, испытываемые человеком. Связь между микровыражениями и человеческими эмоциями исследована известным психологом Полом Экманом [1]. Область автоматического анализа микровыражений с помощью методов технического зрения быстро развивается в последние годы [2, 3]. Однако общая проблема распознавания

истинных эмоций человека с помощью микровыражений «в реальных условиях» очень далека от своего решения.

Решение задачи автоматического выявления истинных эмоций человека может найти применение в различных практических приложениях. Например, своевременное выявление подавленных эмоций может помочь гармонизировать эмоциональное состояние человека, что, в свою очередь, может способствовать общему укреплению его здоровья [4].

2 Проблема влияния подавленных эмоций на здоровье человека

Подавление эмоций на регулярной основе может оказывать негативное влияние на эмоциональное состояние человека [5]. Пребывание в длительном дисгармоничном эмоциональном состоянии, в свою очередь, может деструктивно воздействовать на организм. Для того чтобы вернуть сбалансированное эмоциональное состояние необходимо своевременно выявлять, какие эмоции преимущественно человек подавляет. Обычно выделяют следующие эмоции человека: счастье, удивление, гнев, грусть, страх, отвращение и презрение [6]. Позитивные эмоции не оказывают деструктивного воздействия. Сознательное подавление эмоций контролируется человеком, поэтому их влияние также может быть нивелировано самим человеком. Таким образом, наибольшую проблему представляет случай бессознательного подавления негативных эмоций [7]. В таком случае человек может обращаться к психологу, который может выявить подавляемые эмоции. Однако в этом случае процесс будет происходить «вручную».

Современные технологии позволяют автоматизировать этот процесс с использованием методов компьютерного зрения. Однако необходимые для этого математические методы и алгоритмы в настоящее время ещё только исследуются и разрабатываются [2]. Полученные в предыдущих научных исследованиях [8-11] обнадеживающие результаты лежат в основе предлагаемой технологии обнаружения микролицевых движений для выявления истинных эмоций человека.

Для обнаружения скрытых эмоций человека предлагается использовать методы анализа микровыражений лица человека [3]. Научным основанием этого являются многолетние психологические исследования [1], показавшие, что истинные эмоции человека проявляются на лице в виде микровыражений. Они возникают в результате попыток человека сознательно или бессознательно скрыть свои эмоции. В таких случаях на лице появляются микровыражения, которые соответствует проявлениям каких-либо известных эмоций [8].

Выявление подавляемых эмоций в перспективе удобно выполнять бесконтактным методом с помощью высокоскоростной камеры. Современные смартфоны могут обеспечить скорость съемки до 240 кадров в секунду. Такая скорость является потенциально достаточной для реализации технологий обнаружения и распознавания микровыражений. Далее показана принципиальная возможность осуществления процесса выявления истинных

эмоций человека с технической точки зрения на основе гибридных методов анализа микровыражений лица человека. Представлено общее описание варианта реализации разработанного программного конвейера [9] для проведения экспериментальных исследований математических методов и алгоритмов выявления истинных эмоций человека по микровыражениям.

3 Выявление подавляемых эмоций по микровыражениям лица

Микровыражение, соответствующее конкретной эмоции, может быть распознано на основе комбинации микролицевых движений. Это соответствие описано в системе кодирования лицевых движений Facial Action Coding System (FACS) [12]. Поэтому основная проблема автоматического распознавания подавленных эмоций заключается в корректном обнаружении присутствия микролицевых движений. В предыдущей работе предложен конвейер обнаружения микролицевых движений [9]. Конвейер реализован с использованием языков программирования MATLAB® и Python®. Исходными данными для экспериментальных исследований разработанного программного конвейера послужил набор данных спонтанных действий и микродвижений Spontaneous Actions and Micro-Movements (SAMM) [13]. Этот набор данных содержит видеопоследовательности изображений, записанные со скоростью 200 кадров в секунду. На изображениях представлены лица людей с микровыражениями, соответствующими различным эмоциям. Для формирования насколько возможно более разнообразного набора данных были выбраны люди различных полов, рас, национальностей и возрастов.

Обработка входных последовательностей изображений $\{I_k\}$, $k = \overline{1, N}$ в конвейере выполняется гибридными методами. На рис. 1 показаны основные этапы разработанного конвейера обнаружения микролицевых движений. Снизу указаны используемые подходы для каждого из этапов. Возможен выбор различных конкретных методов или алгоритмов, которые дают различные комбинации для реализации программного конвейера. Далее коротко описана наиболее успешная комбинация по результатам экспериментов. В качестве критерия для оценки успешности определенного варианта использовался процент корректных обнаружений в булевом векторе присутствия микролицевых движений \mathbf{m} по совокупности выбранных последовательностей изображений из набора данных SAMM. В экспериментах использовалась примерно третья часть этого набора данных.

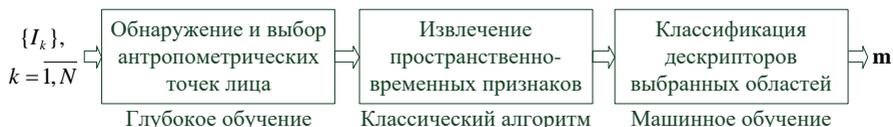


Рис. 1 – Основные этапы обнаружения микролицевых движений гибридными методами

3.1 Обнаружение и выбор антропометрических точек лица

Методы глубокого обучения можно использовать только на первом этапе из-за отсутствия в настоящее время наборов данных микродвижений с достаточным для этих методов количеством изображений. Для обнаружения антропометрических точек это возможно, поскольку используется нейронная сеть, предварительно обученная на изображениях лиц без микровыражений [10]. Обнаружение антропометрических точек производилось с помощью фреймворка MediaPipe [14] на основе библиотеки TensorFlow [15]. Предложена схема выбора 62 антропометрических точек в областях возможных микролицевых движений из обнаруженных TensorFlow 468 антропометрических точек.

На рис. 2 представлен пример результатов этапа обнаружения и выбора антропометрических точек лица указанным способом. Девушка на изображении на рис. 2, а испытывает скрытую агрессию, так как прищуривает веки. Однако это сложно заметить невооруженным взглядом. На рис. 2, б показаны антропометрические точки, найденные TensorFlow для изображения на рис. 2, а. На рис. 2, в показаны выбранные антропометрические точки, которые подаются на следующий этап конвейера. Номера точек соответствуют нумерации в TensorFlow. Выбираются только те антропометрические точки, которые могут быть задействованы в микролицевых движениях. Кроме того, выполняется прореживание для уменьшения объема вычислений. Это возможно, поскольку обнаруженные TensorFlow антропометрические точки располагаются слишком часто для рассматриваемой задачи.

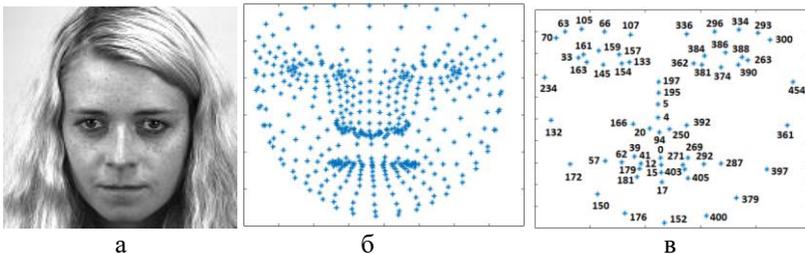


Рис. 2 – Обнаружение и выбор антропометрических точек лица:
а – изображение из набора SAMM; б – обнаруженные TensorFlow антропометрические точки; в – выбранные антропометрические точки в областях возможных микролицевых движений

3.2 Извлечение пространственно-временных признаков

Предложен алгоритм построения трехмерных блоков для выбора областей вокруг антропометрических точек лица [9]. При этом последовательность изображений рассматривается в трех измерениях: два пространственных и одно временное. Далее для каждого блока необходимо вычислить вектор дескриптор признаков. На этом этапе используется алгоритм дескриптора

локальных бинарных шаблонов по трем ортогональным плоскостям Local Binary Patterns from Three Orthogonal Planes (LBP-TOP) [16-19]. Это классический математический алгоритм без использования нейронных сетей. Этот алгоритм имеет ряд настраиваемых параметров. В ходе экспериментальных исследований были найдены комбинации параметров, обеспечивающих наибольшие проценты корректно обнаруженных микролицевых движений для рассмотренной выборки последовательностей изображений. Одна из наиболее успешных комбинаций параметров алгоритма LBP-TOP представлена в таблице 1. Указаны параметры, оказывающие наибольший эффект на результат. Коэффициенты задания траектории размещения соседних точек показывают, что предпочтительно выбирать в пространственно-временных плоскостях траекторию в виде эллипса, а не окружности.

Таблица 1 – Найденные параметры алгоритма LBP-TOP для вычисления дескрипторов признаков блоков

Величина деления блока по каждой оси	Величина перекрытия блока по каждой оси	Коэффициент задания траектории размещения соседних точек в плоскости Oxt	Коэффициент задания траектории размещения соседних точек в плоскости Oyt
5	0,1	0,1	0,3

3.3 Классификация дескрипторов выбранных областей

На этапе классификации дескрипторов признаков выбранных областей можно воспользоваться методами машинного обучения [20]. Однако глубокое обучение не подходит из-за небольшого количества данных для обучения. В ходе проведенных экспериментов для реализации этого этапа конвейера был выбрана известная архитектура нейронной сети. Это многослойный перцептрон Multilayer Perceptron (MLP). Использование MLP позволило достичь результата 98 % корректного обнаружения микролицевых движений для использованной части набора данных SAMM.

4 Заключение

Для выявления истинных эмоций человека предлагается использовать методы анализа микровыражений лица. Разработанный в предыдущей работе программный конвейер позволяет обнаруживать микролицевые движения на основе гибридных методов. Представленный конвейер в перспективе может использоваться для выявления скрытых негативных эмоций. Программная реализация опирается на функции фреймворка MediaPipe. Предложенный подход требует дальнейшей теоретической и экспериментальной проработки для осуществления на практике.

Дальнейшие направления исследований предполагают развитие и доработку программного конвейера, реализующего разработанную

технологии обнаружения микролицевых движений. Требуется провести установление соответствия обнаруженных микролицевых движений единицам движения FACS, а по ним произвести распознавание конкретных эмоций, испытываемых человеком. Сложность этих этапов заключается в том, что эмоции человека могут накладываться друг на друга и иметь различную силу проявления. Тем самым, искомое соответствие не является однозначным. Также необходимо работать над повышением точности распознавания, поскольку даже незначительные погрешности промежуточных результатов на любом из этапов могут существенным образом отразиться на окончательном результате распознавания эмоций из-за неясной природы микровыражений и незначительности их проявлений. Этого можно достичь путем проведения экспериментов с полным набором SAMM, а также с использованием других наборов данных.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности продолжения исследований в области анализа микровыражений лица. Разработка технологий автоматического распознавания истинных эмоций человека откроет новые возможности для анализа человеческой психики.

Библиографический список

1. Paul Ekman, *Emotion in the Human Face*, 2nd Edition, Malor Books, 2013, 456 p.
2. Yee-Hui Oh, John See, Anh Cat Le Ngo, Raphael C.-W. Phan, and Vishnu M. Baskaran, A Survey of Automatic Facial Micro-Expression Analysis: Databases, Methods, and Challenges, *Frontiers in Psychology Journal*, Volume 9, Article 1128, 2018, 21 p.
3. Walied Merghani, Adrian K. Davison, and Moi Hoon Yap, A Review on Facial Micro-Expressions Analysis: Datasets, Features and Metrics, Preprint submitted to *IEEE Transactions, Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018, 19 p. [accessed 2022 November 22]. URL: <https://arxiv.org/abs/1805.02397>.
4. Anna Chernenko, Maria Ashapkina, Victoria Sablina, and Alexey Alpatov, Physical Activity Set Selection for Emotional State Harmonization Based on Facial Micro-Expression Analysis, *GraphiCon 2022: 32nd International Conference on Computer Graphics and Vision*, Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Ryazan, Russia, September 19-22, 2022, pp. 678-687.
5. Jainish Patel and Pritesh Patel, Consequences of Repression of Emotion: Physical Health, Mental Health and General Well Being, *International Journal of Psychotherapy Practice and Research*, 1 (3), 2019, pp. 16-21.
6. Paul Ekman Group®, *Universal Emotions*, [accessed 2022 November 22]. URL: <https://www.paulekman.com/universal-emotions/>.
7. Simon Boag, Repression, Suppression, and Conscious Awareness, *Psychoanalytic Psychology*, 27 (2), 2010, pp. 164-181.
8. Anna D. Sergeeva, Alexander V. Savin, Victoria A. Sablina, and Olga V. Melnik, Emotion Recognition from Micro-Expressions: Search for the Face and Eyes, 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) Proceedings, Budva, Montenegro, 2019, pp. 632-635.

9. Giovanni Burresti and Victoria A. Sablina, Micro-Facial Movement Detection Using LBP-TOP Descriptors for Landmark Based Regions, 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) Proceedings, Budva, Montenegro, 2021, pp. 401-404.
10. Alexander V. Savin, Victoria A. Sablina, and Michael B. Nikiforov, Comparison of Facial Landmark Detection Methods for Micro-Expressions Analysis, 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) Proceedings, Budva, Montenegro, 2021, pp. 336-339.
11. Anna D. Sergeeva and Victoria A. Sablina, Eye Landmarks Detection Technology for Facial Micro-Expressions Analysis, 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) Proceedings, Budva, Montenegro, 2020, pp. 448-451.
12. Adrian K. Davison, Walled Merghani, and Moi Hoon Yap, Objective Classes for Micro-Facial Expression Recognition, *Journal of Imaging*, 4 (10), 119, 2018, 13 p.
13. Adrian K. Davison, Cliff Lansley, Nicholas Costen, Kevin Tan, and Moi Hoon Yap, SAMM: A Spontaneous Micro-Facial Movement Dataset, in *IEEE Transactions on Affective Computing*, Volume 9, No. 1, 2018, pp. 116-129.
14. MediaPipe on GitHub, [accessed 2022 November 22]. URL: <https://google.github.io/mediapipe/>.
15. Yury Kartynnik, Artsiom Ablavatski, Ivan Grishchenko, and Matthias Grundmann, "Real-time Facial Surface Geometry from Monocular Video on Mobile GPUs," CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality 2019, IEEE, Long Beach, CA, 4 p. [accessed 2022 November 22]. URL: <https://arxiv.org/abs/1907.06724>.
16. Guoying Zhao and Matti Pietikäinen, Dynamic Texture Recognition Using Local Binary Patterns with an Application to Facial Expressions, In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29 (6), 2007, pp. 915-928.
17. Adrian K. Davison, Moi Hoon Yap, Nicholas Costen, Kevin Tan, Cliff Lansley, and Daniel Leightley, Micro-Facial Movements: An Investigation on Spatio-Temporal Descriptors, In *ECCV 2014, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 8926, Springer, Cham., 2015, pp. 111-123.
18. Shiyu Zhang, Bailan Feng, Zhineng Chen, and Xiangsheng Huang, Micro-Expression Recognition by Aggregating Local Spatio-Temporal Patterns, In *MMM 2017, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 10132, Springer, Cham., 2017, pp. 638-648.
19. Xiaopeng Hong, Yingyue Xu, and Guoying Zhao, LBP-TOP: A Tensor Unfolding Revisit, In *ACCV 2016, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 10116, Springer, Cham., 2017, pp. 513-527.
20. Iyanu Pelumi Adegun and Hima BinduVadapalli, Facial Micro-Expression Recognition: A Machine Learning Approach, *Scientific African Journal*, Volume 8, e00465, 2020, 14 p.

СЕКЦИЯ 1. МЕДИЦИНСКИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭРГАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 612.821

ПОДДЕРЖАНИЕ ЗДОРОВЬЯ С ПОМОЩЬЮ САМОРЕГУЛЯТИВНОЙ ПРАКТИКИ

С.А. Сухих, Н.М. Богатов, А.Н. Богатова

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар

Актуальность исследования обусловлена необходимостью сохранения психологического и функционального состояния здоровья в условиях возрастающих психоэмоциональных и интеллектуальных нагрузок. Показана роль состояния сознания в результативности саморегуляционных процессов.

Ключевые слова: саморегуляция, психотехники, кардиоинтервалография, здоровье, субъектность.

KEEPING HEALTH THROUGH SELF-REGULATORY PRACTICE

S.A. Sukhih, N.M. Bogatov, A.N. Bogatova

Kuban State University, Krasnodar

The relevance of the study is due to the need to maintain the psychological and functional state of health in the face of increasing psycho-emotional and intellectual stress. The role of the state of consciousness in the effectiveness of self-regulatory processes is shown.

Key words: self-regulation, psychotechnics, cardiointervalography, health, subjectivity.

Человек в современном обществе находится в условиях высокого ритма жизни, который способствует диффузному распространению тревоги, стресса, фрустраций и других факторов, нарушающих психологическое здоровье. В работе [1] развивается концепция, согласно которой воздействие сознания субъекта изменяет энергоинформационный обмен в организме, отражающийся в функционировании его органов и систем.

В данной работе проведено исследование влияния психологических особенностей субъектов психофизиологической саморегуляции на динамику функционального состояния организма. Исходной методологической посылкой проведенного исследования выступает положение, согласно которому категория субъекта определяется в большей степени уровнем эволюции сознания [2]. Уместно говорить о субъектности как мере осознанности тех или иных аспектов бытия человека [3].

Активность как один из атрибутов субъекта может иметь разные формы проявления: внешне материально-преобразующую деятельность, пассивную форму реализации, связанную с созерцательно-рефлексивными действиями

субъекта. Изменения как следствие этой активности происходят во внутреннем пространстве субъекта. Отсюда вытекает гипотеза исследования, согласно которой успешность саморегулятивной активности связана с мерой субъектности в человеке.

Цель исследования – анализ влияния меры субъектности на результативность саморегуляционных процессов.

Объект исследования – субъекты учебной деятельности, работающие по программе психофизической саморегуляции.

Предмет исследования – процесс влияния состояния сознания на успешность овладения техниками саморегуляции.

Исследование проводилось на выборке 100 человек юношей и девушек в возрасте 20 – 25 лет. В качестве методического инструментария в работе использовались: исследование волевой саморегуляции; определение уровня самоконтроля; опросник «диагностика субъективности»; исследование познавательного процесса внимание. Все участники исследования были проинформированы о его цели и проинструктированы о методиках тестирования.

В качестве объективных измерений динамики состояний: вегетативной нервной системы, нейрогуморальной регуляции, психоэмоционального состояния и спектрограммы головного мозга использовался метод кардиоинтервалографии (КИГ). Аппаратно-программный диагностический комплекс (АПДК) SilverStep соответствует требованиям стандартов измерения, физиологической интерпретации и клинического использования показателей кардиоинтервалографии.

Наиболее распространенным является метод обработки кардиоинтервалов с помощью гистографического анализа: вычисляется мода распределения, ее амплитуда и вариационный размах и на основании этих параметров вычислялся интегральный показатель – индекс напряжения (ИН). ИН пропорционален средней частоте сердечных сокращений и обратно пропорционален диапазону, в котором варьирует интервал между двумя ударами сердца и отражает степень вовлеченности организма в стресс.

В норме в спокойном состоянии сердечный ритм преимущественно регулируется собственным водителем ритма и теми местными влияниями, которые поступают от симпатических и парасимпатических ганглиев, а также уровнем некоторых гормонов в крови. При состояниях, требующих повышенной готовности, быстроты реакции, при стрессе и некоторых патологических состояниях к регуляции сердечного ритма, подключаются более высокоорганизованные структуры мозга – ствол и кора головного мозга, ИН сильно увеличивается.

Методика исследования включала 1 – предварительное измерение (определение начального функционального и психоэмоционального состояния испытуемых с помощью АПДК SilverStep); 2 – стимуляцию (методически организованный сеанс саморегуляции); 3 – определение функционального и психоэмоционального состояния испытуемых после

сеанса саморегуляции; 4 – последующее психологическое тестирование; 5 – обработку результатов измерений с помощью программы Silver Step Pulse; 6 – анализ результатов исследований.

Длительность сеансов саморегуляции составляла 20 ÷ 30 минут. Применялись следующие психотехники: абдоминальное дыхание, работа со вторым энергоцентром, работа с семью энергоцентрами, кокон, дыхание в мозг и другие.

Анализ изменения показателей функциональных состояний субъектов саморегуляции в учебной деятельности, полученных по данным кардиоинтервалографии, показал следующее. Показатель психоэмоционального состояния (ПЭС) и комплексный показатель здоровья (КПЗ) изменяются в результате сеансов саморегуляции. Положительная динамика была отмечена у более 60% всех испытуемых. У каждого респондента отмечены изменения на разном уровне. Есть респонденты, у которых КПЗ снизился, но уровень ПЭС вырос.

В подгруппе респондентов, обладающих высоким уровнем развития общей саморегуляции, показатели КПЗ и ПЭС повысились у 60% испытуемых. В подгруппе респондентов, обладающих низким уровнем развития общей саморегуляции, КПЗ и ПЭС повысились у 26,7% испытуемых.

У каждого респондента разный набор психологических качеств и черт. Метод кардиоинтервалографии позволяет получить объективную оценку изменения функционального состояния организма. Экспериментальным путем доказано влияние определенных психологических качеств на положительную динамику функциональных состояний субъектов саморегуляции. Основной сложностью решаемой проблемы является то, что в реальных ситуациях состояние человека определяется одновременным воздействием целого ряда переменных, как связанных между собой, так и независимых. Поэтому в прикладных исследованиях экстремальных состояний часто вводится дополнительное понятие «комбинированные стрессоры». Вопрос о взаимодействии различных факторов и их влиянии на возникновение и динамику функциональных состояний практически не изучен. Практическая значимость данного исследования состоит в важности применения объективно–ориентированных методов оценки состояний в психологических исследованиях.

Библиографический список

1. Богатов Н.М., Богатова А.Н., Ерохин Н.М., Носаль А.А., Сухих С.А., Херсонцев М.О., Щетинин Д.А. Анализ влияния психотехник на особенности энергоинформационного обмена организма // Коллективная монография Современные проблемы физики, биофизики и инфокоммуникационных технологий, В. 10. – Краснодар: ЦНТИ, 2021. С. 68 – 80.

2. Сухих С.А. Коммуникация в организации индивидуального и коллективного субъекта // Языковой дискурс в социальной практике. Тверской гос. ун-т. – Тверь, 2016 С. 239 – 246.
3. Каленов А.А. К вопросу понимания субъектности и ее структуры в научных исследованиях // Образование и воспитание, 2017, 11(1).

УДК 615.47.619

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ ПАТОЛОГИЙ В ВЕТЕРИНАРИИ

М.О. Журавель

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар

Проведена оценка эффективности использования различных фазированных датчиков при исследовании кардиологических патологий в ветеринарии.

Ключевые слова: *ультразвуковое исследование, кардиология, ветеринария, фазированные датчики, частота.*

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF VARIOUS PHASED SENSORS IN THE STUDY OF CARDIAC PATHOLOGY IN VETERINARY MEDICINE

M.O. Zhuravel

Faculty of Physics and Technology, Kuban State University

The principle of signal processing for the method of infrared spectroscopy as a method of non-invasive determination of blood glucose levels is considered. A functional diagram of the device is proposed.

Key words: *optical methods are non-invasive, glucose, near infrared spectroscopy.*

Метод ультразвуковых исследований особенно активно применяется в ветеринарии.

Цель работы: Провести оценку эффективности использования различных фазированных датчиков при исследовании кардиологических патологий в ветеринарии.

Исследования показали, что заболевания сердца встречаются приблизительно у 10% собак и 15% кошек. Большинство кошек страдают от кардиомиопатии. У собак мелких пород чаще всего развивается миксоматозная дегенерация митрального клапана (МДМК), в то время как представители более крупных пород склонны к развитию дилатационной кардиомиопатии.

Несмотря на наличие кардиологического заболевания, кошки и собаки часто выглядят здоровыми до тех пор, пока у них не разовьется сердечная недостаточность. Заболевание может быть диагностировано на ранней стадии

только во время ветеринарного обследования, проводимого по причинам, не связанным с оценкой здоровья сердца [1].

Для верификации диагнозов заболевания, проводили эхокардиографию (ЭХО-КГ). Это необходимо для оценки систолической функции сердца, динамического контроля клинического состояния больных собак, а также прогнозирования последствий заболевания и контроля результатов их лечения. Для кардиологического исследования животных фиксировали в правом боковом положении на столе, предназначенном для УЗИ-исследования, с окошком, конечности располагали перпендикулярно телу, при этом вытягивая правую переднюю конечность максимально вперёд. При ЭХО-КГ крупных пород собак использовали секторный фазированный датчик с рабочей частотой 2,0-3,6 МГц. Наиболее четкое изображение получали при расположении датчика под исследуемой областью. Из каждого доступа сканировали сердце в нескольких плоскостях: по длинной оси, короткой оси и в четырехкамерной проекции. При этом получали двухмерные изображения в В-режиме с проведением соответствующих измерений. Затем выбирали подходящее направление сканирования в М-режиме. Для оценки функциональности сердца использовались такие клинически значимые показатели как: диаметр аорты (АО), размер левого предсердия (LA), отношение размера левого предсердия к аорте (L/A), конечный диастолический размер левого желудочка (LVd), конечный систолический размер левого желудочка (LVs), конечный систолический объём левого желудочка (LVVs), конечный диастолический объём левого желудочка (LVVd), фракция выброса (EF%) и фракция сократимости (FS%). На рисунке 1 (а) представлено сердце в парастеральном доступе по длинной оси. На ЭХО-КГ сверху визуализируется межжелудочковая перегородка, также полость левого желудочка со створками митрального клапана, задняя стенка левого желудочка визуализируется в нижней левой части ЭХО-КГ, в нижней правой части находится полость левого предсердия. Межжелудочковая перегородка переходит в переднюю стенку аорты, а передняя митральная створка – в заднюю стенку аорты.



а) Датчик P8-2s

б) Датчик P10-4s

Рис. 1 – Одномерная ЭХО-КГ на уровне папиллярных мышц

На рисунке 1(б) представлена одномерная ЭХО-КГ на уровне папиллярных мышц помощью датчика P10-4s. На ЭХО-КГ сверху-вниз визуализируется передняя стенка правого желудочка, конечный систолический и диастолический размер полости правого желудочка, межжелудочковая перегородка, передняя створка митрального клапана, конечный систолический и диастолический размер полости левого желудочка, задняя стенка левого желудочка, а также задняя стенка митрального клапана [2].

В ходе работы, было проведено экспериментальное исследование на аппарате УЗИ Mindray Vetus 7, при использовании 3-х ветеринарных фазированных датчиков: P8-2s P10-4s P4-2s и участия десяти животных разных размеров (кошки, собаки, рептилии).

Анализируя визуализацию во время исследования сердца можем сделать вывод, что УЗИ для общих кардиологических исследований у мелких животных лучше проводить датчиком с частотами в среднем от 5 до 8 МГц (рекомендуется использовать датчики с фазированной решеткой и модуль постоянно-волнового доплера, если доступны для прибора) - P7-3P, P7-3/P7-3s, P73E с CW.

При проведении общих кардиологических исследований у крупных животных используется микроконвексный датчик с частотами в среднем от 2 до 5 МГц. Для качественной визуальной диагностики крупной собаки микроконвексного датчика с рабочим диапазоном частот 5-8 МГц может быть недостаточно даже при использовании самой низкой частоты, так как не будет достигнута необходимая для визуализации сердца глубина проникновения Эхо-сигнала. Наилучших результатов можно достигнуть если использовать датчики с фазированной решеткой (2P2/2P2s, 2P2P, P4-2/P4-2s, P4-2E) и модуль постоянно-волнового доплера (CW). Важно, чтобы аппарат для исследования был оснащён функцией Echo Boost™(режим улучшенной визуализации структур сердца) и имел ЭКГ модуль [3].

Метод УЗИ-диагностики является на сегодняшний день самым точным и безопасным способом исследования работы внутренних органов животных. Он позволяет быстро определить причину заболевания, степень травматизации внутренних тканей, диагностировать беременность животного и определить количество и жизнеспособность плодов.

Библиографический список

1. Шабанов, А.М. Ультразвуковая диагностика внутренних болезней мелких домашних животных / А.М. Шабанов и др.- М.: КолосС, 2005.-138с..
2. Щупакова, А.Н. Клиническая ультразвуковая диагностика / А.Н. Щупакова, А.М Литвяков. Минск: Книжный дом, 2004.- С.290-309.
3. Руководство к Mindray Vetus 7 (УЗИ-сканер с цветным доплером)/ Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co., Ltd. 2020 г.

ОСОБЕННОСТИ ПРОФИЛАКТИКИ КОГНИТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ С УЧЕТОМ ИНТЕРЛЕЙКИНОВОГО СТАТУСА

И.В. Лев¹, В.Н. Чуриков², Э.В. Откидач³

¹ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Федорова», г. Тамбов

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко», г. Воронеж

³ЧУЗ «РЖД-Медицина», г. Белгород

Проведен анализ уровней интерлейкинов в плазме крови у больных с диабетической ретинопатией с когнитивными нарушениями. Разработана система профилактики когнитивных нарушений с учетом интерлейкинового статуса у пациентов с диабетической ретинопатией.

Ключевые слова: *диабетическая ретинопатия, когнитивный статус, интерлейкины, профилактика.*

FEATURES OF THE PREVENTION OF COGNITIVE IMPAIRMENT TAKING INTO ACCOUNT THE INTERLEUKIN STATUS

I.V. Lev¹, V.N. Churikov², E.V. Otkidach³

¹S.N. Fedorov National medical research center «MNTK Eye Microsurgery named after S.N. Fedorov», Tambov,

²Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh

³RZD-Medicine, Belgorod

The analysis of interleukin levels in blood plasma in patients with diabetic retinopathy with cognitive impairment was carried out. A system for the prevention of cognitive impairment has been developed taking into account the interleukin status in patients with diabetic retinopathy.

Key words: *diabetic retinopathy, cognitive status, interleukins, prevention.*

Диабетическая ретинопатия представляет опасное для зрения осложнение и часто сочетается с развитием когнитивных нарушений [1]. Однако связь между диабетической ретинопатией и когнитивными нарушениями неясна из-за неоднозначных результатов исследований и отсутствия долгосрочных данных [2]. Систематический обзор публикаций, сообщающих о взаимосвязи диабетической ретинопатии с когнитивной дисфункцией показал высокий уровень связи между диабетической ретинопатией и когнитивными нарушениями, согласно которым отмечается почти трехкратное увеличение риска когнитивных нарушений среди больных диабетической ретинопатией по сравнению с пациентами без неё [2]. Одновременное изучение содержания интерлейкинов в крови у больных диабетической ретинопатией с когнитивной дисфункцией практически не осуществляется. Отсутствуют

также исследования по сравнительной оценке системного интерлейкинового профиля у больных диабетической ретинопатией с различной степенью тяжести когнитивных нарушений.

В 2021-2022гг. на базе Тамбовского филиала МНТК «Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Федорова» изучены изменения интерлейкинового статуса у 54 пациентов пожилого возраста с диабетической ретинопатией с легкими когнитивными нарушениями и у 62 больных пожилого возраста диабетической ретинопатией с умеренными когнитивными расстройствами. Диагностика диабетической ретинопатии осуществлялась по результатам комплексного офтальмологического обследования и с учетом клинических рекомендаций Общероссийской ассоциации врачей-офтальмологов «Сахарный диабет: ретинопатия диабетическая, макулярный отек диабетический» [3]. Оценка когнитивных функций выполнена посредством валидированной шкалы Mini-Mental-State-Examenation (MMSE). Классификация когнитивных нарушений в соответствии с вышеназванной шкалой проведена по величине баллов, набравших каждым пациентом с диабетической ретинопатией: 28,0-30,0 баллов – легкие когнитивные нарушения, 24,0-27,9 баллов – умеренные когнитивные нарушения.

Для изучения интерлейкинов в плазме крови забор последней осуществлялся в утренние часы, а затем иммуноферментным анализом с использованием набора «Протеиновый контур» изучалось содержание интерлейкинов в указанных ранее клинических группах: IL-1 α , IL-1 β , IL-4, IL-5, IL-6, IL-7, IL-8, IL-9, IL-10, IL-12, IL-17 и IL-18.

Сравнивая содержание интерлейкинов крови у пожилых пациентов с диабетической ретинопатией с легкими и умеренными когнитивными нарушениями, необходимо отметить существенность различий, достигающую во всех случаях статистически значимых различий в рассматриваемых группах. Обращает, прежде всего, внимание многократное увеличение уровня провоспалительного интерлейкина крови – IL-6 среди больных диабетической ретинопатией с умеренными когнитивными нарушениями по сравнению с когортой пациентов такого же возраста, страдающих диабетической ретинопатией и легкими когнитивными нарушениями.

У пациентов пожилого возраста, страдающих диабетической ретинопатией и умеренными когнитивными нарушениями, диагностировано также выраженное статистически значимое повышение в плазме крови IL-8 по отношению к пациентам с диабетической ретинопатией и легкими нарушениями когнитивных функций. Обсуждаемые группы больных диабетической ретинопатией достоверно отмечаются и по содержанию в плазме крови IL-1 β и IL-17, уровень которых выше в 2,1 раза и в 2,6 раза соответственно при наличии у обследованных умеренной ментальной дисфункции, чем при легкой степени.

Среди отличий системного интерлейкинового статуса пациентов 60-74 лет с диабетической ретинопатией и умеренной когнитивной дисфункцией

следует назвать более высокий уровень IL-12, IL-1 β , IL-5 ($p < 0,001$). В меньшей степени, но статистически значимо, среди пациентов пожилого возраста, страдающих диабетической ретинопатией и умеренными когнитивными нарушениями, оказалась повышенной концентрация IL-7, IL-9 и IL-18, тогда как у больных диабетической ретинопатией и легкой степенью ментальной дисфункции их содержание было достоверно ниже.

Уровень противовоспалительных интерлейкинов крови, напротив среди больных диабетической ретинопатией с умеренными когнитивными нарушениями статистически значимо снижен в отличие от больных с аналогичной офтальмологической патологией, но с легкими нарушениями когнитивной функции. Так, уровень IL-4 в плазме крови у пациентов 60-74 лет, страдающих диабетической ретинопатией и умеренными нарушениями ментальности снижен в 1,6 раза. Содержание другой изученной противовоспалительного IL-10 в плазме крови больных диабетической ретинопатией с умеренными когнитивными нарушениями по сравнению с пациентами с диабетической ретинопатией с легкой когнитивной дисфункцией уменьшилось в 1,8 раза.

На основании вышепредставленных результатов можно утверждать, что развитие умеренных когнитивных нарушений среди пожилых больных диабетической ретинопатией сопровождается более существенными изменениями системного интерлейкинового профиля, чем у больных с таким же заболеванием и легкой когнитивной дисфункцией. Это свидетельствует о том, что более выраженное повышение провоспалительных интерлейкинов и снижение противовоспалительных интерлейкинов в плазме крови способствует формированию умеренных когнитивных нарушений.

Библиографический список

1. Фабрикантов О.Л., Агарков Н.М., Лев И.В., Гурко Т.С., Яблоков М.М., Москалева Е.О., Москалев А.А. Аллостатическая нагрузка как способ объективизации возрастной жизнеспособности пациентов с офтальмопатологией // Научные результаты биомедицинских исследований. 2021. Т. 7, № 4. С. 451-460.
2. Gupta P. Association between diabetic retinopathy and incident cognitive impairment // Br J Ophthalmol. 2019. Vol. 103, N. 11. P. 1605-1609.
3. Астахов Ю.С. Клинические рекомендации «Сахарный диабет: ретинопатия диабетическая, макулярный отек диабетический» // М.: Общероссийская общественная организация «Ассоциация врачей-офтальмологов», 2020. 52с.

СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕМОРА

С.В. Новикова

Научный руководитель – Каплан М.Б., к.т.н., доцент
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрена система для исследования тремора. Предложены функциональная схема системы и программная реализация в среде графического программирования NI LabVIEW.

Ключевые слова: тремор, анализ.

TREMOR RESEARCH SYSTEM

S.V. Novikova

Scientific adviser – Kaplan M.B., Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof.
Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

A system for the study of tremor is considered. A functional scheme of the system and a software implementation in the NI LabVIEW graphical programming environment are proposed.

Keywords: tremor, analysis.

Рассматривается носимый монитор тремора с возможностью подключения к внешним устройствам, а так же рассмотрены основные методы регистрации тремора.

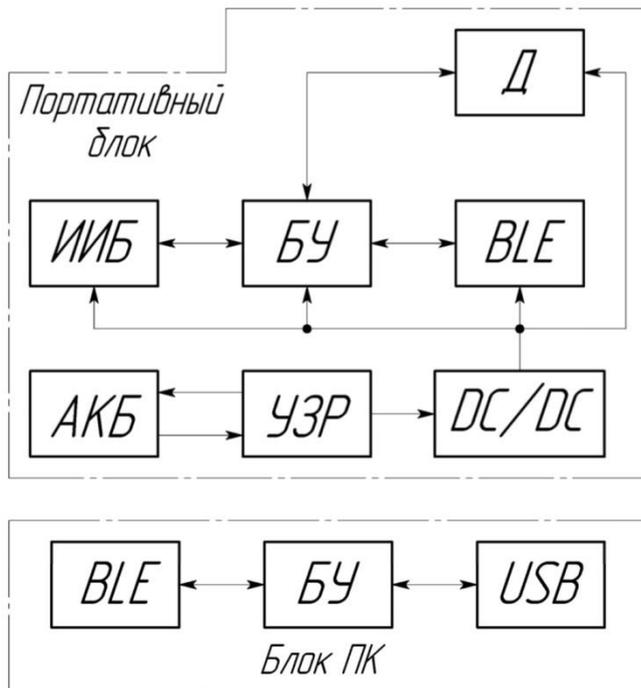
Эссенциальный тремор (ЭТ), наиболее распространенное треморное расстройство, представляет собой постуральный и кинетический тремор, поражающий 4,6–6,3% взрослых в возрасте старше 60–65 лет. Он представляет собой семейство болезней, а не одно заболевание, которое может быть связано с нарушениями походки и когнитивными нарушениями. Хотя ЭТ не является опасным для жизни заболеванием, оно оказывает серьезное негативное влияние на все аспекты качества жизни, включая социальные и психологические, из-за их обострения в общественных местах. В основном это поражает верхние конечности с последующим вмешательством в основные повседневные действия, такие как почерк, одевание, прием пищи и уход за собой.

Анализ тремора в повседневной жизни имеет решающее значение для лучшего понимания состояния пациента и оценки результатов лечения. В клинической практике тремор обычно оценивается по нескольким шкалам.

Электромиография (ЭМГ) – это метод косвенного анализа тремора: в процессе исследования регистрируются не сами дрожательные осцилляции, а электрические потенциалы, генерируемые мышечными волокнами в процессе сокращения. Ритмическая активность мышц при дрожательных

осцилляциях может быть зарегистрирована, преобразована и в конечном счете представлена в виде разнообразных параметров треморограммы .

В настоящее время на практике применяется несколько методик ЭМГ при обследовании пациентов с тремором – ЭМГ с использованием поверхностных электродов, игольчатая ЭМГ (включая анализ отдельных двигательных единиц), технологии длительной ЭМГ-регистрации. Эти методики дополняют друг друга и позволяют не только всесторонне объективизировать дрожательные гиперкинезы, но также решать сложные диагностические вопросы и изучать тонкие механизмы треморогенеза.



На структурном уровне разрабатываемое устройство состоит из двух укрупнённых блоков – портативного и блока ПК.

Портативный блок состоит из инерциального измерительного блока (ИИБ), который позволяет измерять частоту и интенсивность тремора пациента и блока управления (БУ), осуществляющего регистрацию показаний ИИБ и их предварительную обработку. Обработанная информация о треморе передаётся в блок ПК с помощью энергоэффективной версии интерфейса Bluetooth (BLE). Некоторую краткую информацию можно отобразить на сенсорном дисплее (Д). Поскольку блок представляет собой носимое устройство, его питание осуществляется от аккумулятора (АКБ),

заряжаемого с помощью устройства заряда-разряда (УЗР). Необходимый уровень питающего напряжения поддерживается с помощью преобразователя постоянного тока (DC/DC). Блок ПК представляет собой устройство, позволяющее персональному компьютеру обмениваться информацией с портативным блоком.

Библиографический список

1. Louis ED, Ferreira JJ. How common is the most common adult movement disorder? Update on the worldwide prevalence of essential tremor. *Mov Disord.* 2010 Apr 15;25(5):534-41. doi: 10.1002/mds.22838. PMID: 20175185.
2. Louis ED. Essential tremor: from bedside to bench and back to bedside. *Curr Opin Neurol.* 2014 Aug;27(4):461-7. doi: 10.1097/WCO.000000000000115. PMID: 24950011; PMCID: PMC4122986.
3. Matsumoto, Yuya & Seki, Masatoshi & Ando, Takeshi & Kobayashi, Yo & Iijima, Hiroshi & Nagaoka, Masanori & Fujie, Masakatsu. (2012). Tremor frequency based filter to extract voluntary movement of patients with essential tremor. *Proceedings of the IEEE RAS and EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics.* 1415-1422. 10.1109/BioRob.2012.6290905.
4. Zheng X, Vieira Campos A, Ordieres-Meré J, Balseiro J, Labrador Marcos S, Aladro Y. Continuous Monitoring of Essential Tremor Using a Portable System Based on Smartwatch. *Front Neurol.* 2017 Mar 15;8:96. doi: 10.3389/fneur.2017.00096. PMID: 28360883; PMCID: PMC5350115.

УДК 631.1

«УМНАЯ» МИНИ-ТЕПЛИЦА: СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ В ЦИФРОВИЗАЦИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

В.О. Лычагина

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет,
г. Тамбов

Рассмотрен проект умной теплицы, основное назначение данной конструкции и требования для ее конструирования. Приведены используемые технические средства, дана их краткая характеристика.

Ключевые слова: «умная» мини-теплица, автоматизированная система, датчики, система GSM/GPRS, микроклимат.

«SMART» MINI-GREENHOUSE: MODERN SOLUTIONS IN DIGITALIZATION OF AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

V.O. Lychagina

Tambov State Technical University, Tambov

The project of a smart greenhouse, the main purpose of this design and the requirements for its design are considered. The technical means used are given their brief characteristics are given.

Key words: «smart» mini-greenhouse, automated system, sensors, GSM/GPRS system, microclimate.

«Умная» мини-теплица – это полностью автоматизированная конструкция, призванная облегчить процесс выращивания агрокультур и минимизировать использование ручного труда. Этот сельскохозяйственный объект включает в себя микроконтроллеры и датчики, для реализации автоматического режима работы.

Актуальность практической реализации «умной» мини-теплицы обуславливается тем, что построение цифровой экономики предусматривает внедрение информационных технологий во все сферы деятельности человека. Одним из ключевых направлений является создание и практическое применение совокупности программно-аппаратных решений и роботизированных интеллектуальных технологий выращивания сельскохозяйственных растений в закрытых системах, таких как «умные теплицы», позволяющих снизить издержки производства и повысить производительность работ.

Данная теплица предназначена для выращивания растений в квартире, благодаря которой можно получать экологически чистые продукты, спрос на которые постоянно растет. Для удовлетворения потребностей потребителей необходимо использовать современные тепличные технологии.

Существуют определенные требования для практической реализации «умной» мини-теплицы:

1. Внутри конструкции должен автоматически поддерживаться оптимальный температурный режим.
2. Полив растений должен выполняться своевременно и без участия человеческого фактора (дождевание или капельное орошение).
3. В теплице должна присутствовать система автоматического проветривания.
4. Автоматическое управление теплицей должно осуществляться на расстоянии с помощью беспроводных технологий, таких как, GSM/GPRS, для управления с телефона.
5. Удобство применения, прочность и надежность и эстетичность.

На современном рынке автоматизированные мини-теплицы для квартир пока не являются системой, которую можно купить в свободном доступе. Все разработки, ведущиеся в этом направлении, находятся на этапе макетов. Поэтому, в качестве аналога используется макеты, которые были разработаны, а также решения для промышленных теплиц, которые уже используются.

Например, система Smart standard, «умная теплица» — это система автоматизации, предназначенная создавать оптимальную среду для растений

в теплице. Все результаты своей деятельности, система при помощи датчиков, отправляет через интернет на портал. Данные по измерениям температуры воздуха, влажности почвы или уровня освещенности сохраняются на портале в дальнейшем доступны для просмотра и анализа.

Главное отличие от уже существующих телиц заключается в системе досвечивания, которую планируется реализовать с помощью светодиодной ленты.

Наибольший потенциал развития на данный момент заложен в фитотоники, то есть в воздействие на различные растения светом разных длин волн и интенсивности. Специфика светодиодного освещения заключается в подборе уникального спектра света, на который будет реагировать растение.

Наиболее важным качеством света для растений является его длина волны; чем короче длина волны, тем выше содержание энергии. Для эффективного роста и развития растений необходимо установление определенного спектрального состава фотосинтетической активной радиации (ФАР).

Рассмотрим диапазон ФАР:

1. 630-670 нм. (красные) – увеличение массы и роста, прорастание, цветение, плодоношение, управление суточными циклами бодрствования и покоя, прорастание семян, растяжение клеток.

2. 730 нм. («дальний красный») – "выключает" активность растений. 1-2 минуты воздействия достаточно, чтобы снять эффект красного света 660нм, и наоборот.

3. 430-470 нм. (синие) – развитие корневой системы (или формированием клубней), удлинение стеблей и листьев, регулятивные функции: направление роста стебля, ускорение и замедление роста, раскрытие и закрытие бутонов, деление клеток. Задерживают растяжение клеток, в большом количестве угнетают прорастание семян, открывание устьиц, движение цитоплазмы и хлоропластов.

4. УФ-диапазон 380-420нм. – губителен, но небольшое количество ближнего УФ-спектра благотворно для цветов, а также вкуса и аромата овощей/фруктов.

Оптимальное соотношение – экспериментально установлено, что оптимальный поток синего света для листовых растений составляет около 10-15% от ФАР. Фактически, это соотношение красного и синего 9:1.

Однако эффективность светодиодного свечения пока ставиться под сомнение, но с помощью данной разработки появляется возможность доказать или опровергнуть теорию о светодиодном свечении.

Спроектировать такую теплицу можно с помощью электронного конструктора Arduino. Алгоритм реализации данного проекта состоит в следующем. Предлагается использовать специализированные датчики для контроля и управления микроклиматом.

Датчик освещённости фиксирует количество света, попадающего на растение и при понижении его ниже критической отметки - включает

дополнительное освещение, которое представлено светодиодной лентой.

Датчики влажности и температуры фиксируют влажность и температуру как воздуха, так и почвы, благодаря чему вовремя происходит проветривание или закрытие теплицы, чтобы урожай не вымерз и не сгорел.

Система GSM/GPRS, помогает следить как за состоянием растения, так и вовремя задать требуемый режим или выполнить команду, просто отправив смс на устройство.

Таким образом, система автоматизированного управления теплицей позволяет оставлять слишком требовательное к условиям растения без присмотра на неопределённый срок. Система анализирует изменения в микроклимате внутри теплицы и реагирует на них активировав те или иные компоненты системы, что позволяет удерживать условия выращивания продолжительный период времени.

Библиографический список

1. Фролов С.В., Фролова М.С., Потлов А.Ю., Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений // Врач и информационные технологии. – 2014. – №3. – С.35-45.
2. Фролов С.В., Маковеев С.Н., Семенова С.В., Фареев С.Г. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем // Вестник ТГТУ. 2010. Т.16. №2. С.266-272.
3. Курдюмов, Н.И. Современная теплица / Н.И. Курдюмов. - М.: АСТ, 2019. - 160 с.
4. Мини-теплица для квартиры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://teplica-exp.ru/mini-teplica-dlya-kvartiry-ogorod-krug/> - Дата обращения 27.09.2022.

УДК 621.317:615.47

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ СЕРДЦЕБИЕНИЯ ПЛОДА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКОГО СИГНАЛА

О.В. Мельник, К.И. Хижняк

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрен принцип обработки абдоминального ЭКГ беременной женщины для оценки состояния плода путем выделения ЭКГ плода из материнской и последующей оценки его сердечного ритма. Предложена функциональная схема устройства.

Ключевые слова: электрические сигналы, электрокардиография, абдоминальная электрокардиография.

FETAL HEART RATE REGISTRATION SYSTEM BASED ON ANALYSIS OF ELECTROCARDIOGRAPHIC SIGNAL

O.V. Melnik, K.I. Khizhnyak

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The principle of processing the abdominal ECG of a pregnant woman to assess the condition of the fetus, by isolating the fetal ECG from the mother's and subsequent assessment of its heart rate is considered. A functional diagram of the device is proposed.

Key words: *electrical signals, electrocardiography, abdominal electrocardiography.*

Основными методами изучения сердечного ритма плода, показатели которого отражают наличие гипоксии, являются: ультразвуковая доплерография, кардиотокография, фонокардиография, магнитокардиография и электрокардиография. Применяют в медицине ультразвуковую доплерографию и кардиотокографию, но эти методы не обладают необходимой точностью для детального анализа и при частом применении могут неблагоприятно воздействовать на развивающийся плод. Абдоминальная электрокардиография плода является более безопасным методом. Данный метод можно использовать для многократного и длительного мониторинга, так как является абсолютно безопасным как для матери, так и для плода. На переднюю брюшную стенку беременной женщины накладываются электроды и производится регистрация электрических сигналов, из которых затем выделяется ЭКГ плода.

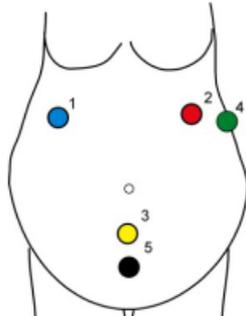


Рис. 1 – Точки наложения электродов (1-3 – абдоминальные электроды, 4 – референтный электрод, 5 – выравнивающий электрод)

Выбранное расположение электродов позволит получить качественный сигнал электрической активности матери, а самое главное сигнала сердечной деятельности плода не зависимо от его предлежания [1]. При таком расположении электродов сердце плода всегда будет находиться внутри треугольника, который ограничивают абдоминальные электроды [2].

Данный сигнал содержит в себе множество информативных и мешающих составляющих: ЭКГ матери, ЭКГ плода, сигналы миографической активности матки, сетевую и мышечную помеху, артефакты двигательной активности плода и матери. Спектр ЭКГ матери сосредоточен в диапазоне частот 0,1 – 100 Гц, ЭКГ плода 1 – 100 Гц, сигнал миографической активности 0,2 – 1 Гц, спектр артефактов движения 0,1 – 10 Гц, электрическая миографическая активность мышц 10 – 100 Гц, сетевая помеха 50 ± 2 Гц [3].

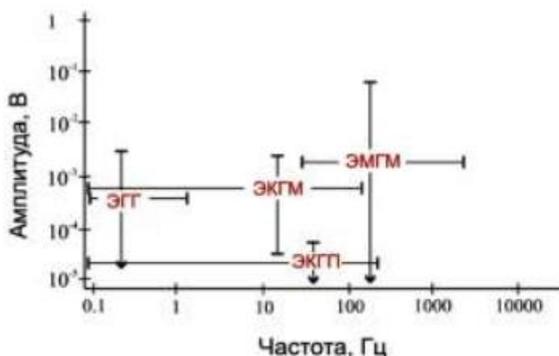


Рис. 2 – Частотный состав абдоминального сигнала

Ниже представлена функциональная схема устройства, позволяющего производить регистрацию сигналов с абдоминальной поверхности.

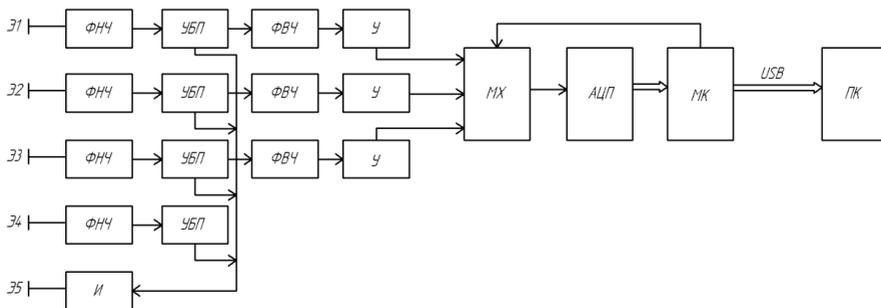


Рис. 3 – Функциональная схема устройства

Это стационарный вариант устройства с передачей данных на персональный компьютер с помощью интерфейса USB. Сигнал с абдоминальных электродов проходит через фильтр нижних частот и затем поступает на усилитель биопотенциалов, после которого фильтр верхних частот убирает низкочастотную составляющую. Следом после усиления и мультиплексирования сигнал поступает на вход аналого-цифрового преобразователя и уже с него в цифровом виде на микроконтроллер. В цепи

обратной связи включен интегратор, чтобы получить необходимую амплитудно-частотную характеристику. После первичной обработки на микроконтроллере сигнал через USB поступает на персональный компьютер, где и производится дальнейшая обработка и вывод информации на экран для врача.

Библиографический список

1. Киселева Е.Ю., Толмачев И.В. Основные принципы получения информации о состоянии системы мать-плод // Биомедсистемы-2007: материалы конференции. - Рязань: 2007. - с. 80-84.
2. Киселева Е.Ю., Толмачев И.В. Разработка программно-аппаратного комплекса для мониторинга системы мать-плод // Биомедсистемы-2007: материалы конференции. - Рязань: 2007. - с. 165-167.
3. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Пер. с англ. под ред. А.П. Немирко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 440 с.

УДК 616-073

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ДВУОКСИ УГЛЕРОДА В ВЫДЫХАЕМОЙ ЧЕЛОВЕКОМ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

О.В. Мельник, Д.П. Родионова

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрены методы мониторинга двуокси углерода в выдыхаемой человеком газовой смеси. Произведен анализ методов капнометрии, а также способы доставки газа в измерительную камеру.

Ключевые слова: *двуокись углерода, углекислый газ, дыхание, капнометрия, капнография.*

ANALYSIS OF METHODS FOR MONITORING CARBON DIOXIDE IN A GAS MIXTURE EXHALED BY A PERSON

O.V. Melnik, D.P. Rodionova

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

Methods of monitoring carbon dioxide in a gas mixture exhaled by a person are considered. The analysis of capnometry methods, as well as methods of gas delivery to the measuring chamber, was carried out.

Key words: *carbon dioxide, carbon dioxide, respiration, capnometry, capnography.*

Дыхание — жизненно важный процесс, благодаря которому происходит поступление в организм кислорода и удаление двуокси углерода (углекислого газа).

Мониторинг CO_2 необходим в терапевтической, анестезиологической и реанимационной практиках для выявления нарушения дыхания.

Наиболее информативной является оценка напряжения CO_2 в плазме крови. Чаще всего эта оценка является дискретной, поскольку требует забора порций крови с последующей обработкой в газоанализаторе. Для ориентировочной оценки парциального давления CO_2 в артериальной крови (paCO_2) используют либо измерение концентрации углекислого газа в выдыхаемых (end-tidal) порциях альвеолярного воздуха (pETCO_2), либо измерение напряжения CO_2 в тканях.

При исследовании концентрации углекислого газа в выдыхаемой человеком газовой смеси (pETCO_2), на практике используют два подхода: измерение и цифровое отображение величины CO_2 (капнометрия) и визуальное (графическое) изображение изменений этой величины во времени (капнография). Полученная кривая называется капнограммой (рис.1). Капнограмма даёт специалисту важную информацию не только о концентрации CO_2 в конце выдоха (pETCO_2), но и о целостности дыхательной системы, о физиологии пациента, а также представление о состоянии гемодинамики и скорости метаболизма.

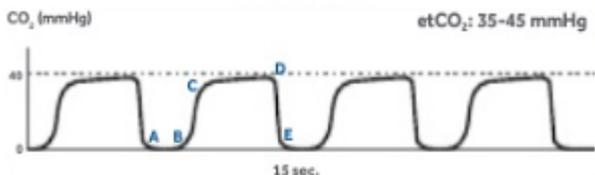


Рис.1 – Нормальная капнограмма.

В настоящее время существуют капнографы, работа которых основана на использовании методов масс-спектрометрии, лазерной спектрометрии (принцип Raman) и инфракрасной (ИК) спектрографии. Последний метод является наиболее распространенным, за счет надежности и простоты в эксплуатации, относительной дешевизны и возможности создания портативных мониторов.

Все модели капнографов (как, впрочем, и других газоанализаторов) различаются не только по принципу, лежащему в основе измерения, но и по способам доставки газа в измерительную камеру [1]. Таких способов три:

- капнометрия в боковом потоке (вне дыхательного потока с непрерывным отбором пробы газа — Sidestream analysis);
- капнометрия в основном потоке (Mainstream analysis);
- капнометрия в микропотоке (Microstream technology).

Капнометрия в боковом потоке(Sidestream analysis).

Данный способ капнометрии является наиболее широко распространенным. Из потока вдыхаемого и выдыхаемого газа (например, из интубационной трубки или наркозной маски) небольшая его часть

непрерывно откачивается по тонкой пластиковой трубке и подается в измерительную камеру, расположенную внутри монитора. Внутри прибора, помимо измерительной камеры, находится источник ИК-излучения и сенсор, измеряющий абсорбцию излучения углекислого газа. После выполнения анализа газ сбрасывается в атмосферу.

Достоинством данного метода является его дешевизна и возможность контроля CO_2 у неинтубированных пациентов. При этом имеются такие недостатки как: необходимость в устройстве для удаления паров воды из газовой смеси; повышенное время реакции измерительной системы (если это имеет значение).

Капнометрия в основном потоке (Mainstream analysis).

Данный способ капнометрии менее распространен. Адаптер для измерения CO_2 в данной системе является частью дыхательного контура и представляет собой устанавливаемую между интубационной трубкой и тройником контура кювету, через которую на проток проходит весь вдыхаемый и выдыхаемый газ. Снаружи на адаптер надевается съемный датчик, в который вмонтированы источник монохроматического ИК-излучения и вся измерительная система. После включения монитора пациента требуется некоторое время для разогрева самого датчика.

Основным достоинством является быстрое действие. К недостаткам относятся: дороговизна, громоздкость, а также ограничение в использовании только у интубированных или трахеостомированных пациентов.

Также к недостаткам, относящимся как к капнометрии бокового, так и основного потока является: риск микробной контаминации аппаратуры и, в последующем, дыхательных путей больного; Использование широкого спектра ИК-излучения приводит к тому, что поглощается не только CO_2 , но и оксид азота N_2O и некоторые анестетики, что искажает истинную величину PETCO_2 ; зависимость от правильного положения адаптера.

Капнометрия в микропотоке (Microstream technology).

Это вариант системы капнометрии в боковом потоке с укороченной магистралью. Сенсор находится вне дыхательных путей, однако забор газа в Microstream-адаптерах производится сразу через несколько микропортов, имеющих гидрофобное покрытие, расположенных по периметру адаптера и ориентированных в различных направлениях. Это минимизирует аспирацию секрета, который прилипает к стенкам адаптеров и делает забор проб менее зависимым от положения пациента и ориентации адаптера.

Благодаря использованию влагопроницаемой трубки для забора проб значительно уменьшается поступление воды и микроорганизмов в камеру датчика. Микропоры в трубке позволяют влаге выходить из забранной порции газа, пока она проходит по трубке. Поступление влаги и бактерий снижается также благодаря тому, что на входе в прибор расположены субмикронные фильтры. Небольшой внутренний диаметр линии забора (всего 1 мм) сохраняет поток газа по магистрали ламинарным даже при очень высокой частоте дыхания, что делает капнограмму информативно и

надёжной при использовании у детей и новорожденных.

Основным достоинством микропотоковых капнометров является специфичность, обеспечиваемая использованием нерассеивающегося инфракрасного микролуча с узким спектром, настроенного исключительно на поглощение спектра CO_2 , а также, в отличие от «традиционных» капнографов, калибровки аппарата в процессе эксплуатации не требуется. Микропотоковая технология позволила значительно увеличить точность, удешевила эксплуатацию капнографов и расширила их клиническое применение, в частности – в педиатрии и при транспортировке пациентов [2].

Библиографический список

1. Шурыгин И. А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия.— СПб.: "Невский Диалект"; М.: "Издательство БИНОМ", 2000.- 301 с. С. 111.
2. Маркин А.В., Цеймах И.Я. Диагностика, лечение дыхательной недостаточности и расстройств дыхания в клинике внутренних болезней. – Барнаул : Изд-во ГБОУ ВПО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава России, 2015. – 116 с. С. 43

УДК 629.735.071

ПУЛЬСОВЫЙ ОКСИМЕТР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПИЛОТА

Д.С. Коптев, Ю.В. Шуклина

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Рассмотрены общие принципы работы пульсового оксиметра, назначением которого является осуществление контроля функционального состояния пилота в процессе полёта. Выбраны длины волн оптического излучения светодиодов. Показаны пути повышения точности оценки уровня насыщения артериальной крови.

Ключевые слова: гипоксия, пилот, уровень насыщения артериальной крови кислородом, пульсовой оксиметр.

PULSE OXIMETER FOR DIAGNOSIS OF PILOT FUNCTIONAL STATE

D.S. Koptev, Y.V. Shuklina

Southwestern State University, Kursk

The general principles of operation of a pulse oximeter, the purpose of which is to control the functional state of the pilot during the flight, are considered. The wavelengths of the optical radiation of the LEDs are chosen. The ways of increasing the accuracy of assessing the level of saturation of arterial blood are shown.

Key words: hypoxia, pilot, arterial blood saturation level, pulse oximeter.

Без кислорода жизнь человека невозможна. В переводе с греческого гипоксия обозначает понижение количества кислорода, уменьшение его содержания в тканях организма. Гипоксия играет особую роль в чрезвычайно опасном, чаще всего пагубном, воздействии на организм человека. Это связано с тем, что гипоксия почти всегда проявляется в тяжелых состояниях, вне зависимости от того вызваны они каким-либо заболеванием или экстремальным воздействием различных факторов окружающей среды. При этом тяжесть и исход состояния организма напрямую связан с глубиной гипоксии.

В результате анализа работ [1-3] установлено, что существенную опасность для жизни и здоровья пилота представляют состояние гипоксии, а также действие перегрузок большой величины в течении длительного интервала времени. На сегодняшний день главной тенденцией развития систем управления безопасностью полётов является разработка методов и средств диагностирования функционального состояния пилота для возможности своевременной оценки динамики изменения его состояния, а также проведения послеполётного анализа с целью введения корректирующих действий в наземную подготовку пилотов (операторов).

Исходя из [2], можно сказать, что существующие в настоящее время пульсоксиметры имеют существенный недостаток – низкую точность определения уровня насыщения артериальной крови кислородом $+/- 2\%$.

Это связано с тем, что такие устройства имеют два источника оптического излучения и не могут исследовать все фракции гемоглобина, присутствующие в составе крови. Различают функциональную и фракционную сатурации крови.

Определение функциональной сатурации крови:

$$SpO_{2\text{фун}} = \frac{C_{\text{HbO}_2}}{C_{\text{HbO}_2} + C_{\text{Hb}}} \cdot 100\%,$$

где C_{HbO_2} – молярная концентрация оксигемоглобина; C_{Hb} – молярная концентрация дезоксигемоглобина.

Определение фракционной сатурации крови:

$$SpO_{2\text{фун}} = \frac{C_{\text{HbO}_2}}{C_{\text{HbO}_2} + C_{\text{Hb}} + C_{\text{HbCO}} + C_{\text{метHb}}} \cdot 100\%,$$

где C_{HbCO} – молярная концентрация карбоксигемоглобина; $C_{\text{метHb}}$ – молярная концентрация метгемоглобина

Наличие двух источников излучения позволяет распознать фракции, ответственные за транспортировку кислорода в крови, а именно оксигенированную и дезоксигенированную фракции гемоглобина. Подобная структура цифрового устройства не позволяет оценивать влияние на уровень насыщения артериальной крови кислородом фракций, не участвующих в транспортировке кислорода, а именно: карбоксигемоглобина HbCO и метгемоглобина MetHb . Структурно-функциональная схема пульсового оксиметра, предназначенного для контроля уровня фракционной сатурации

крови оператора воздушного судна представлена на рис.1.

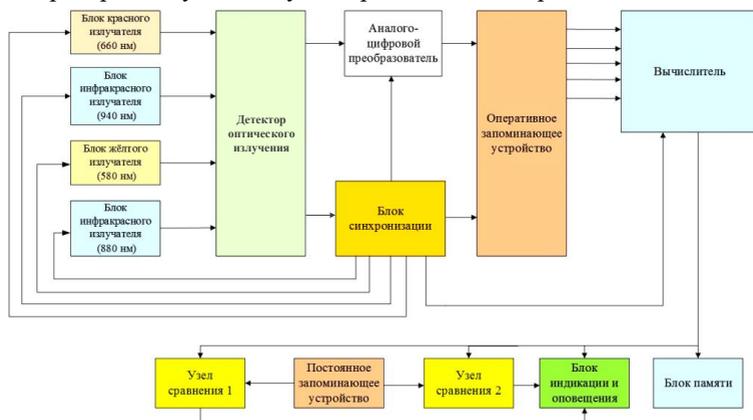


Рис. 1 – Структурно-функциональная схема пульсового оксиметра

В составе блока синхронизации генератор тактовых импульсов создает семь последовательностей импульсов, целью которых является запуск каждого отдельного блока устройства. С выходов блока синхронизации поступают последовательности импульсов, которые ответственны за запуск блоков излучателей (580 нм, 660 нм, 880 нм, 940 нм). Для реализации раздельного включения каждого из светодиодов, данные с блока синхронизации отправляются с временной задержкой относительно друг друга. При прохождении через исследуемую биологическую ткань интенсивность потоков излучения каждого из излучателей изменяется, что обусловлено спектральными характеристиками ткани крови, коэффициентами молярной экстинкции рассматриваемых поглощающих веществ, что приводит к наличию постоянной и переменной составляющих фотоплетизмографического сигнала на выходе детектирующего устройства (фотодиода) [3, стр. 196].

Множественные краткосрочные активации блоков излучателей (660 нм), инфракрасного излучателя (940 нм), жёлтого излучателя (580 нм) и инфракрасного излучателя (880 нм) позволяют отдельно измерять поглощения оптического излучения каждой из четырех форм гемоглобина (таблица 1).

Таблица 1

Контролируемые вещества в составе крови и длины волн для измерения поглощения

Вещество	Hb	HbO2	COHb	MetHb
Длина волны	660 нм	940 нм	580 нм	880 нм

Выбор количественных значений длин волн светодиодов осуществляется на оценке спектрофотометрических характеристик основных поглощающих кровяных хромофоров [3, стр. 227]. В красной области спектрального диапазона 660 нм насыщенный кислородом гемоглобин HbO₂, в отличие дезоксигемоглобина Hb, имеет минимальный коэффициент молярной экстинкции. Обратная же ситуация наблюдается в инфракрасной области. При длине волны 940 нм поглощение фотоизлучения насыщенным кислородом гемоглобин уже на порядок выше, чем у дезоксигемоглобина. Коэффициент молярной экстинкции карбоксигемоглобина значительно снижается по сравнению с метгемоглобином MetHb, обладающим более сложной спектральной характеристикой. Оптические свойства MetHb значительно отличаются от других свойств поглощающих хромофоров. Вследствие чего, для изучения фракций выбраны длины волн с наименьшей разницей поглощения (580 нм) и максимальной (880 нм) для данных веществ.

Исходя из литературных данных, можно сказать, что точность показаний пульсового оксиметра для диагностики функционального состояния пилота напрямую зависит от учета поглощающих веществ в составе крови. Контроль фракционной сатурации крови позволяет повысить точность показаний по сравнению с функциональной, так как учитывает четыре вещества в составе крови, чем обусловлена необходимость использования четырех источников оптического излучения.

Библиографический список

1. Общие принципы работы устройства контроля функционального состояния оператора в процессе полёта / Д. С. Коптев, И. Е. Мухин, И. Н. Бикетов, А. Н. Бикетов // Научное значение трудов К.Э. Циолковского: история и современность : Материалы 55-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 15–17 сентября 2020 года. – Калуга: Индивидуальный предприниматель Стрельцов Илья Анатольевич, 2020. – С. 171-173.
2. Коптев, Д.С. Цифровой биометрический комплекс оценки функционального состояния пилота воздушного судна / Д.С. Коптев, И.Е. Мухин, И.Г. Бабанин // Биомедицинская радиоэлектроника. Т. 22. № 7. – Курск, 2019 г. С. 23-31.
3. Основы авиационной и космической медицины: учебник. Под ред. Академика РАМН И.Б. Ушакова. – М., Фирма «Слово», 2007. – 344 с.

УДК 612.821.77

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕЛОДИЧНОЙ КЛАССИЧЕСКОЙ МУЗЫКИ НА СЕРДЕЧНЫЙ РИТМ ЧЕЛОВЕКА

О.Н. Лифанова, В.Г. Супрун

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург

В современном мире музыка играет огромную роль в жизни человека. В данной работе проведен анализ влияния прослушивания определенного жанра музыки, основываясь на графиках гистограмм распределения RR-интервалов. Это позволяет оценить степень влияния классической музыки на сердечный ритм и состояние человека в целом.

Ключевые слова: электрокардиография, классическая музыка, исследование, ритмы сердца, R-R интервалы.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MELODIC CLASSICAL MUSIC ON A PERSON'S HEART RATE

O.N. Lifanova, V.G. Suprun

Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg

In the modern world, music plays a huge role in a person's life. In this paper, the analysis of the influence of listening to a certain genre of music is carried out, based on the histogram graphs of the distribution of RR intervals. This allows us to assess the degree of influence of classical music on the heart rate and the condition of a person as a whole.

Key words: electrocardiography, classical music, research, heart rhythms, R-R intervals.

Частота сердечных сокращений (ЧСС) – это важнейший биологический маркер человеческого самочувствия [1]. Этот показатель подвержен воздействию естественных и искусственных раздражителей. Музыка стимулирует вегетативную нервную систему, что приводит к изменению ЧСС [2].

Гипотеза исследования - классическая музыка снижает пульс человека и оказывает расслабляющее действие на организм. Целью данной работы является выявление зависимости изменения сердечного ритма в обычных условиях и его всевозможное изменение при прослушивании классической музыки.

Первым этапом работы было снятие ЭКГ у трех испытуемых в возрасте 20±1 без сердечно-сосудистой и мозговой патологии, не имеющих специального музыкального образования. Запись и анализ сердечного ритма (СР) осуществлялась на автоматизированном аппаратно-программном комплексе КАП-01 «Кардиотехника ЭКГ». Активация слуховой сенсорной

системы осуществлялась с помощью специально выбранной композиции Л. Бетховена «Лунная соната», продолжительностью более 5 минут. В работе для получения достоверных оценок была необходима непрерывная запись анализируемого процесса длительностью 420 секунд (7-минутная запись ритмограммы). Для каждого испытуемого первая регистрация сердечного ритма проводилась в фоновом режиме, а вторая 7-минутная запись проводилась при прослушивании Лунной сонаты. Для более точных показаний в исследовании использовалась 12-ти канальная регистрация ЭКГ.

Достоверность результатов определялась визуально при анализе отклонений в ритме на графиках ЭКГ по kresult 3 от компании «ИНКАРТ». Гистограмма распределения RR-интервалов представляет собой диаграмму, высота каждого столбика которой соответствует количеству RR-интервалов, попавших во временной диапазон, соответствующий положению рассматриваемого столбика на временной шкале [3].

После обработки результатов были построены графики гистограмм в фоновом режиме и при прослушивании спокойной классической музыки (Рис. 1 и Рис. 2).

Аналогичные гистограммы были построены для других испытуемых. На основе полученных результатов сделан вывод, что средняя частота сердечных сокращений у всех испытуемых снизилась, также снизился уровень тревоги и напряжения, что подтвердилось устным опросом после проведения исследования. Полученные результаты подтвердили гипотезу: классическая музыка снижает пульс человека и оказывает расслабляющее действие на организм.

В ходе работы был проведен эксперимент по влиянию прослушивания классической музыки на ритмы сердца. Проведена обработка полученных сигналов ЭКГ, построены гистограммы, проведен анализ параметров и сделаны выводы.

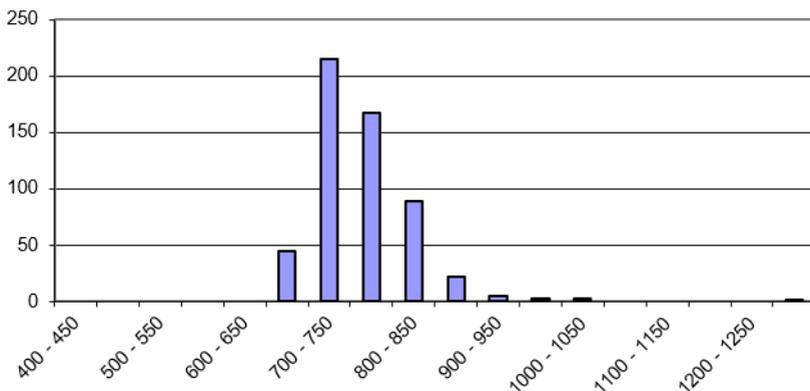


Рис. 1 – График гистограммы испытуемого при фоновой записи ЭКГ

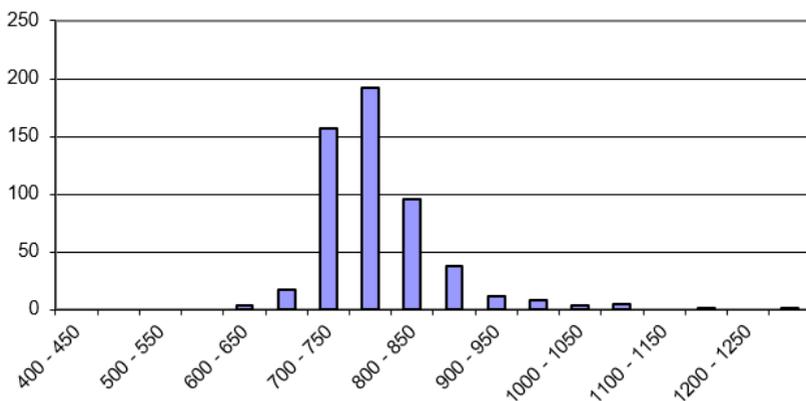


Рис. 2 – График гистограммы испытуемого при прослушивании классической музыки

Таким образом, спокойная классическая музыка влияет на сердечный ритм человека и его эмоциональное состояние благоприятным образом. Если человек заботится о своем здоровье, в свободное время или после напряженного рабочего дня действительно одним из лучших решений будет послушать произведения любимых классических авторов. Это не только может поднять настроение и помочь расслабиться, но и поможет организму восстановить нормальные показатели сердечного ритма.

Библиографический список

1. Дреев Г.Д., Богатов Н.Н. Биофизика и медицинская инженерия изменения состояния вегетативной нервной системы во время воздействия на нее рок музыкой // Журнал «Современные проблемы физики, биофизики и инфокоммуникационных технологий». – Краснодар: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России, 2019. 177 с. С. 113.
2. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем // Вестник. №24. 2002. 65 с.
3. Березный Е.А., Рубин А.М., Утехина Г.А. Практическая кардиоритмография. СПб: «НЕО». 2005. 140 с.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКА РАЗВИТИЯ ТРОМБОЭМБОЛИИ
ЛЕГОЧНОЙ АРТЕРИИ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТРОМБА
В ВЕНАХ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

А.В. Полякова, П.С. Азарова, А.В. Быков, Н.А. Кореневский, А.В. Винников,
Н.А. Милостная, О.В. Ефименко, С.А. Пархоменко
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Целью исследования является разработка метода прогнозирования риска развития тромбоемболических осложнений. Основу метода составили модифицированные факторы тромбообразующих процессов. Это нам позволило смоделировать эволюцию тромба в зависимости от сроков его развития и морфофункциональных особенностей сосудистой системы. Имея в распоряжении прогностические модели эволюции тромба можно эффективно проводить профилактику тромбоемболии легочной артерии и лечение тромбоза. В ходе работы был проведён разведочный анализ с применением метода группового учета аргументов и использована теория латентных переменных с моделью Раша. Составленный метод с достоверностью до 0,9 позволяет эффективно осуществлять лечение тромбоза и своевременно прогнозировать риск развития тромбоемболии лёгочной артерии.

Ключевые слова: венозный тромбоз, постковидный синдром, тромбоемболия легочной артерии, антифосфолипидный синдром.

**PREDICTION OF THE RISK OF PULMONARY EMBOLISM
DEPENDING ON THE MORPHOFUNCTIONAL FEATURES OF THE
THROMBUS IN THE VEINS OF THE LOWER EXTREMITIES**

A.V. Polyakova, P.S. Azarova, A.V. Bykov, N.A. Korenevsky, A.V. Vinnikov,
N.A. Milostnaya, O.V. Efimenko, S.A. Parhomenko
Southwest State University, Kursk

The aim of the study is to develop a method for predicting the risk of thromboembolic complications. The method was based on modified factors of thrombotic processes. This allowed us to simulate the evolution of a blood clot depending on the timing of its development and morphofunctional features of the vascular system. Having prognostic models of thrombus evolution available, it is possible to effectively prevent pulmonary embolism and treat thrombosis. In the course of the work, an exploratory analysis was carried out using the method of group accounting of arguments and the theory of latent variables with the Rush model was used. The compiled method with a reliability of up to 0.9 makes it possible to effectively treat thrombosis and timely predict the risk of pulmonary embolism.

Key words: venous thrombosis, renal syndrome, pulmonary embolism, antiphospholipid syndrome.

Введение. Не теряет своей актуальности прогнозирование и ранняя профилактика тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА) при развитии острых тромбозов глубоких вен и варикотромбофлебитов нижних конечностей. Особенно остро встал вопрос в последние 3 года, когда обыденным становится отклонение от нормы иммунной системы в форме антифосфолипидного синдрома (АФС) в разные сроки постковидного синдрома. Следовательно, тактика оценки рисков ТЭЛА должна учитывать возможность конформации тромбов с учетом локального диссеминированного внутрисосудистого свёртывания крови (ДВС) при условии прогрессирующей микроангиопатии (МАП), что сугубо важно для снижения давления в тромбированной вене. В противном случае осуществляется каскадный восходящий рост тромба и его миграция в системный кровоток с эмболизацией ветвей легочной артерии. Эти обстоятельства предполагают формирование адаптивного алгоритма прогнозирования эволюции тромба и как следствие риска развития ТЭЛА.

Наиболее опасными разновидностями тромбов являются те, которые прикреплены к стенке сосуда «на ножке» и колеблются в его просвете под действием пульсации тока крови. Они могут эмболизироваться и с током крови перемещаться в лёгочную артерию через правые отделы сердца – это один из вариантов развития неблагоприятного исхода тромба. Стоит также отметить, что есть и благоприятный исход тромба – это рассасывание тромба, которое приводит к нормализации кровотока и предотвращению развития ТЭЛА.

Свежий тромб — это многоуровневая структура, состоящая из сочетания первичного и вторичного тромбов, соотношение которых постоянно меняется в течение времени, и способного в 80-90% случаев лизироваться при нормальной антикоагулянтной защите и фибринолитической активности. Структура свежего тромба – это динамичный сложный комплекс, на формирование которого влияют следующие факторы: тромбоциты, факторы свёртывания крови, фибрин, IL-6, моноциты, фактор Виллебранда, протеин С, антитромбин III (АТ III).

Для оценки стабильности тромба важное значение имеют:

1. Ультразвуковая картина.
2. Гемостазиограмма с определением ВК, агрегации тромбоцитов, качественного соотношения тромбоцитов (зрелых и незрелых), АЧТВ, ПВ, ТВ, уровня фибриногена, АТ III, Пр С, и продуктов деградации фибрина и фибриногена.
3. Развернутый общий анализ крови (в том числе МСНС), НКР.
4. Антифосфолипидные антитела.
5. Биохимический профиль: лактат, АЛТ, АСТ, креатинин, гаптоглобин, Na^+ , K^+ , HCO_3^- .
6. Иммунный профиль: СРБ, IL-3, IL-6, ФНО, фракции системы комплемента, ЦИК.
7. Сосудистый профиль: фактор Виллебранда, эндотелин-1.

8. Гормональный профиль: кортизол, инсулин, метаболиты адреналина, АДГ, АКТГ, кальцитонин, кальцитриол, Т3, Т4.
9. Липидный профиль.
10. Определение ключевых точек устойчивости тромба (соотношение Ха/Па).
11. Анализ периода инициации деградации тромба, основанный на оценке влияния начальной терапии НМГ на ключевые точки его устойчивости.

Материалы и методы. В рандомизированном клиническом исследовании (РКИ) приняли участие 120 пациентов, 60 из которых обследовали по стандарту, а 60 других по предложенному алгоритму. Группы пациентов сопоставимы. Рандомизированы пациенты по возрасту, полу и патологии. Был проведён разведочный анализ с использованием метода группового учета аргументов (МГУА) и теории латентных переменных с моделью Раша [1]. В ходе разведочного анализа отобраны информативные признаки, такие, как: степень организации тромботических масс (СОТ) (X_1), степень заполненности вены тромбом (СВТ) (X_2), степень фиксации тромботических масс (СФТ) (X_3), степень дилатации тромбированной вены (X_4), степень прироста в дистальных отделах тромбированной вены (X_5). Ввиду того, что поставленная задача носит нечёткий характер, были построены функции принадлежности к классу «риск развития ТЭЛА» по отобранным признакам с использованием методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНПП) [2-5].

Результаты и их обсуждение:

В ходе проводимых исследований были получены функции принадлежности для оценки степени риска возникновения ТЭЛА для каждого из признаков $\mu(X_i)$. Данные функции показывают влияние каждого признака на оценку уверенности развития ТЭЛА на фоне тромбоза вен нижних конечностей, причём увеличение значений функций $\mu(X_i)$ соответствует увеличению уверенности в том, что у пациентов возникнет ТЭЛА. Примеры графиков полученных функций принадлежности приведены на рис. 1-2 и аналитически описываются следующими выражениями:

$$\mu(X_1) = \begin{cases} -0,003125X_1 + 0,3, & \text{если } X_1 < 80; \\ 0, & \text{если } X_1 \geq 80. \end{cases}$$

$$\mu(X_2) = \begin{cases} -0,00143X_2 + 0,25, & \text{если } X_2 < 35; \\ 0,004X_2 + 0,06, & \text{если } 35 \leq X_2 < 60; \\ -0,01X_2 + 0,9, & \text{если } X_2 \geq 60. \end{cases}$$

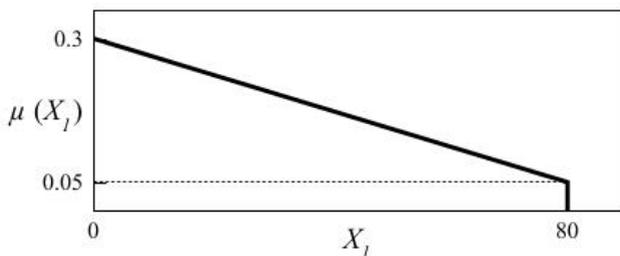


Рис. 1 – График функции принадлежности $\mu(X_1)$

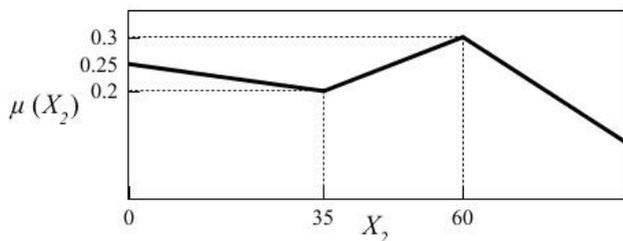


Рис. 2 – График функции принадлежности $\mu(X_2)$

На следующем этапе была определена финальная уверенность UF в развитии ТЭЛА на основе выделенных признаков X_i , которая рассчитывается выражением вида:

$$UF(q+1) = UF(q) + \mu(X_{i+1})[1 - UF(q)]$$

где $i=1, 2, \dots, 5$; $UF(1)=\mu(X_1)$.

На основании значений параметра UF были предложены 4 степени тяжести ТЭЛА (I, II, III, IV) по такому критерию, как показатель оценки риска тромбоэмболии (ПОРТ), а также сформированы функции принадлежности $\mu_r(UF)$ к классам, соответствующим данным степеням тяжести, вида (рис. 3):

$$\mu_I(UF) = \begin{cases} 0,9, & \text{если } UF < 0,2; \\ -9UF + 2,7, & \text{если } 0,2 \leq UF < 0,3; \\ 0, & \text{если } UF \geq 0,3. \end{cases}$$

$$\mu_{II}(UF) = \begin{cases} 0, & \text{если } UF < 0,2; \\ 9UF - 1,8, & \text{если } 0,2 \leq UF < 0,3; \\ 0,9, & \text{если } 0,3 \leq UF < 0,5; \\ -9UF + 5,4, & \text{если } 0,5 \leq UF < 0,6; \\ 0, & \text{если } UF \geq 0,6. \end{cases}$$

$$\mu_{III}(UF) = \begin{cases} 0, & \text{если } UF < 0,5; \\ 9UF - 4,5, & \text{если } 0,5 \leq UF < 0,6; \\ 0,9, & \text{если } 0,6 \leq UF < 0,7; \\ -9UF + 7,2, & \text{если } 0,7 \leq UF < 0,8; \\ 0, & \text{если } UF \geq 0,8. \end{cases}$$

$$\mu_{IV}(UF) = \begin{cases} 0, & \text{если } UF < 0,7; \\ 9UF - 6,3, & \text{если } 0,7 \leq UF < 0,8; \\ 0,9, & \text{если } UF \geq 0,8. \end{cases}$$

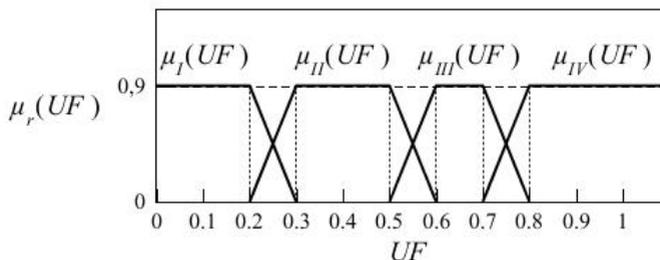


Рис. 3 – Графики функций принадлежности, классифицирующих риск развития ТЭЛА по критерию ПОРТ

Решение о принадлежности к тому или иному классу принимается по величине максимального значения функции $\mu_r(UF)$:

$$UF_r = \max[\mu_I(UF), \mu_{II}(UF), \mu_{III}(UF), \mu_{IV}(UF)].$$

Заключение. В статье описан метод прогнозирования риска развития ТЭЛА и составлен алгоритм, который с достоверностью до 0,9 позволяет прогнозировать риск развития тромбоза легочной артерии в зависимости от морфофункциональных особенностей тромба в венах нижних конечностей. Разработанный алгоритм позволяет проводить раннюю эффективную диагностику и профилактику в выявлении тромбов для предотвращения развития ТЭЛА. Новый подход дает возможность увеличить эффективность оказываемой медицинской помощи уже на раннем этапе лечения.

Библиографический список

1. Корневский Н. А., Шуткин А. Н., Бойцова Е. А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г. Раша // Медицинская техника. 2015. № 6. С. 37-40.
2. Корневский, Н.А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики / Н.А. Корневский // Системный анализ и управление в биомедицинских

системах. – 2005. – Т.4 (№1). – С. 12-20.

3. Корневский, Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем / Н.А. Корневский // Медицинская техника. – 2015. – №1. – С. 33-35.

4. Корневский, Н.А. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография / Н.А. Корневский, С.Н. Родионова, И.И. Хрипина. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. – 472.

5. Корневский, Н.А. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний / Н.А. Корневский, М.В. Артеменко, В.Я. Провоторов, Л.А. Новикова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2014. –Т.13. – № 4. – С. 881-886.

УДК 621.317.61

АНАЛИЗАТОР ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛЛОГРАММЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КРОСС-КОРРЕЛЯЦИИ

О.В. Мельник, Е.С. Сосина

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрен принцип обработки электроэнцефалографического сигнала на основе кросс-корреляционного анализа как способ выявления сходных периодичностей в сигналах от различных отделах головного мозга. Предложена функциональная схема анализатора ЭЭГ на основе виртуального прибора в среде NI LabVIEW.

Ключевые слова: кросс-корреляция, кросс-корреляционный анализ, электроэнцефалограмма, автокорреляционная функция, взаимная корреляционная функция.

ELECTROENCEPHALLOGRAM ANALYZER USING THE CROSS- CORRELATION METHOD

O.V. Melnik, E.S. Sosina

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The principle of electroencephalographic signal processing based on cross-correlation analysis is considered as a way to identify similar periodicities in signals from different parts of the brain. A functional diagram of an EEG analyzer based on a virtual instrument in the NI LabVIEW environment is proposed.

Key words: cross-correlation, cross-correlation analysis, electroencephalogram, autocorrelation function, cross-correlation function.

Сигналы ЭЭГ обычно снимаются одновременно по нескольким каналам. Обнаружение событий и анализ эпох в сигналах ЭЭГ представляют собой более сложные задачи, в связи с необходимостью обнаруживать сходные события по многочисленным каналам. Этим потребностям удовлетворяют методы автокорреляции и взаимной корреляции (кросс-корреляции) как во временной, так и в частотной областях [1].

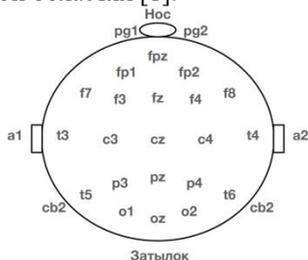


Рис. 1 – Система наложения электродов для записи ЭЭГ «10-20»

Пояснения к обозначениям каналов: pg - носоглоточный (naso-pharyngeal), a - ушной (auricular, мочки уха), fp - передне-лобный (prefrontal), f - лобный (frontal), p - теменной (parietal), c - центральный (central), o - затылочный (occipital), t - височный (temporal), cb - мозжечковый (cerebellar), z - средняя линия (midline); нечётные номера слева по отношению к пациенту, чётные – справа.

При анализе сигналов и процессов широкое применение находят автокорреляционная функция (АКФ) и взаимная корреляционная функция (ВКФ). АКФ позволяет судить о наличии внутренних периодичностей в сигнале, а ВКФ – об общих периодичностях в двух сигналах [3].

ВКФ между двумя сигналами для величины сдвига или задержки τ секунд (или k отсчетов):

$$x_y(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)y(t + \tau)dt, \quad \text{или}$$

$$x_y(k) = \sum_n x(n)y(n + k).$$

В функции АКФ наблюдаются пики с интервалами, соответствующими периодам любых периодических или повторяющихся волновых форм. Это свойство дает возможность выделения ритмов в таких сигналах как в ЭЭГ: на наличие α -ритма должен указывать пик вблизи значения 0,1 с. ВКФ содержит пики с периодами, соответствующими любой периодической волновой форме, присутствующей одновременно в обоих анализируемых сигналах.

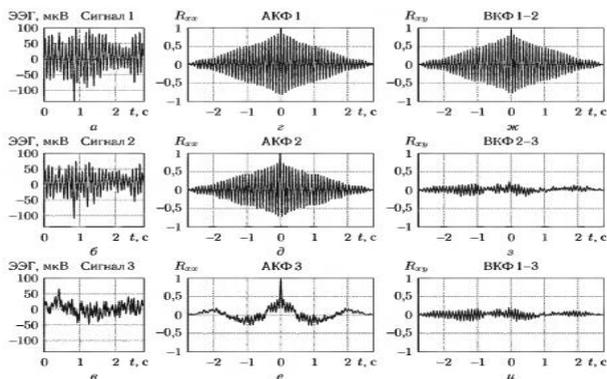


Рис. 2 – Сравнение АКФ и ВКФ для трех разных отведений

ВКФ сигналов 1 и 2 затухает медленно, что показывает наличие в этих сигналах сходных периодичностей. ВКФ, рассчитанная для двух других пар сигналов, принимает относительно небольшие значения, что свидетельствует об отсутствии существенной связи между соответствующими сигналами.

Коэффициент взаимной корреляции (КВК) – значение ВКФ при нулевом сдвиге. Оценка КВК для двух дискретных сигналов:

$$R_{xy} = \frac{1}{N\sigma_x\sigma_y} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)y(n)$$

КВК часто используется для оценки степени связанности сигналов ЭЭГ, снимаемых с электродов, расположенных в различных точках головы человека. Это дает возможность судить о взаимосвязи процессов, происходящих в различных областях головного мозга [3].

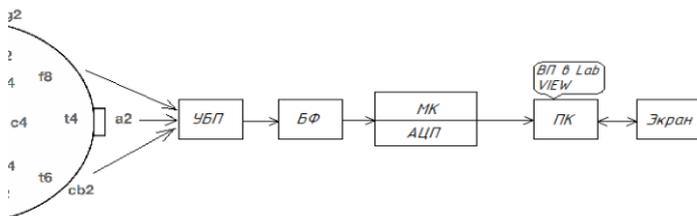


Рис. 3 – Структурная схема устройства

Система управляется от ПК с программным обеспечением (ПО) в виде виртуального прибора (ВП) в среде LabVIEW. Ниже представлена функциональная схема ВП.

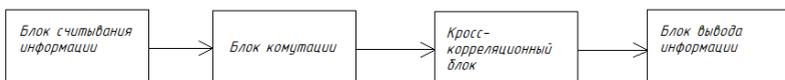


Рис. 4 – Функциональная схема ВП

Сигнал с электродов, полученный при снятии электроэнцефалограммы, поступает на блок считывания информации. С помощью блока коммутации выбираются анализируемые каналы ЭЭГ. В блоке кросс-корреляции обрабатывается сигнал, который в дальнейшем поступает на блок вывода информации, который отображает полученную преобразованную информацию на дисплей ПК.

Библиографический список

1. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Пер. с англ. Под ред. А.П. Немирко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 440 с.
2. Русинов В. С., Майоргик В. Е., Гриндель О. М. [и др.]. Клиническая электроэнцефалография / под ред. В. С. Русинова. — М.: Медицина, 1973. — 339 с.
3. Немирко А.П., Манило Л.А., Калиниченко А.Н. Математический анализ биомедицинских сигналов и данных. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017.–248 с. – ISBN 978-5-9221-1702-3.

УДК 621.317.616

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ОПТИЧЕСКОГО КОГЕРЕНТНОГО ТОМОГРАФА

А.Р. Мазитова

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа

Рассмотрен принцип работы оптического когерентного томографа на основе интерферометра Майкельсона, значение доплеровской ОКТ.

Ключевые слова: *оптические методы, оптический когерентный томограф, доплеровская ОКТ.*

PRINCIPLES OF OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPH OPERATION

A.R. Mazitova

Ufa State Aviation Technical University, Ufa

The paper discusses the principle of optical coherence tomography based on Michelson interferometer, the value of Doppler OCT.

Key words: *optical methods, optical coherence tomography, Doppler OCT.*

Метод ОКТ основан на принципах низкокогерентной интерферометрии. Объект помещают в интерферометр и освещают светом с малой длительностью когерентности. Свет частично отражается от поверхности объекта, а частично проходит внутрь. Внутри объекта свет испытывает многочисленное рассеяние и отражение на оптических неоднородностях, которые являются следствием скачков показателя преломления вещества, из

которого состоит объект. В результате часть излучения выходит из объекта и принимается интерферометром. Эта часть излучения состоит из большого числа волн, каждая из которых отразилась от какой-либо неоднородности внутри среды (или рассеялась на этой неоднородности).

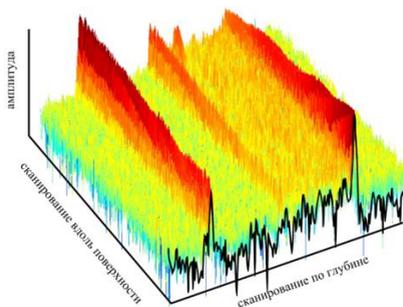


Рис. 1 – ОКТ-изображение двумерного сечения внутренней оптической структуры неоднородного объекта

Элементарные волны несут информацию о двух важных параметрах, характеризующих саму среду. Во-первых, амплитуды волн определяются отражательной способностью неоднородностей, послуживших источниками этих волн.

Во-вторых, в процессе распространения в среде до неоднородности и после нее происходит задержка волны, или фазовый сдвиг, которая зависит от длины оптического пути, пройденного этой волной. Расстояние, пройденное волной, зависит, в свою очередь, от глубины расположения оптической неоднородности.

Таким образом, задача восстановления внутренней оптической структуры объекта заключается в отборе отраженного излучения по длинам оптических путей (по глубине, с которой это излучение пришло) и определении степени отражения на этой глубине.

Для этого отраженную волну сравнивают с излученной волной от того же источника, при помощи интерферометра. Интерферометр устроен таким образом, что длина оптического пути, который проходит излучаемая волна, может меняться, так что данная волна каждый раз сравнивается с отраженным излучением, пришедшего с разной глубины внутри объекта. Результат такого сравнения – интерференционный сигнал, - и есть одиночный скан объекта по глубине. На рисунке 1 этот скан выделен черной линией. Из множества таких последовательных сканов формируется двумерное сечение объекта.

В оптической когерентной томографии используются различные типы двулучевых интерферометров, но наибольшее распространение, в силу простоты реализации и настройки, получил интерферометр Майкельсона.

В качестве источника излучения используется суперлюминесцентный

диод SLD. Источник излучения в системах оптической томографии является одной из наиболее важных составляющих. Спектральный контур излучения источника должен иметь определенную форму и достаточную ширину, чтобы длина временной когерентности излучения была как можно короче, размеры источника должны быть как можно более малыми.

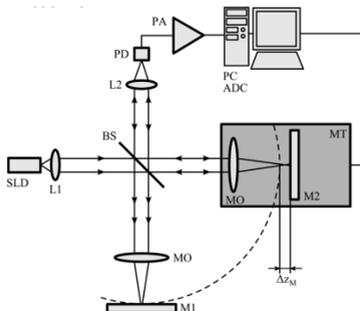


Рис. 2 – Функциональная схема интерферометра Майкельсона

Излучение суперлюминесцентного диода в интерферометре делится при помощи светоделителя BS на две части, одна из которых, предметная, направляется на зеркало M1, на месте которого может быть объект, а вторая, опорная, на зеркало M2. Отражившись от зеркал обе волны снова сводятся вместе при помощи того же делителя BS, после чего попадают на фотоприемник PD. Зеркало M2 вместе с объективом MO закреплено на прецизионном моторизованном трансляторе MT и может перемещаться вдоль оптической оси интерферометра, формируя переменную разность хода между двумя волнами. В дальнейшем под перемещением опорного зеркала M2 и соответствующим изменением разности хода всегда будет подразумеваться совместное перемещение и зеркала и микрообъектива.

Фотоприемник PD регистрирует значение интенсивности суммарного оптического поля, усредненное по времени срабатывания фотодиода и апертуре светочувствительного элемента. Электрический сигнал фотодиода усиливается, оцифровывается при помощи аналого-цифрового преобразователя ADC и затем обрабатывается программными средствами.

Доплеровская ОКТ позволяет получить томографические изображения высокого разрешения статичных и движущихся компонентов в среде с высоким уровнем рассеяния.

Когда свет, обратно рассеянный движущейся частицей, интерферирует с опорным лучом, в интерференционной полосе возникает доплеровский сдвиг частоты f_D :

$$f_D = \frac{1}{2\pi} (\mathbf{k}_s - \mathbf{k}_i) \cdot \mathbf{v}$$

где k_i и k_s - волновые векторы входящего и рассеянного света, соответственно, а v - вектор скорости движущейся частицы. Поскольку доплеровская ОКТ измеряет обратно рассеянный свет, предполагая, что угол между потоком и поглощенным лучом равен θ , уравнение доплеровского сдвига упрощается до

$$f_D = \frac{2V \cos \theta}{\lambda_0},$$

где λ_0 – длина волны вакуумного центра источника света.

Оптическая система доплеровской ОКТ аналогична оптической системе ОКТ. Основное различие заключается в обработке сигнала. В доплеровской ОКТ используется волоконно-оптический интерферометр Майкельсона с широкополосным светом в качестве источника.

Свет от широкополосного частично когерентного источника соединяется в волоконный интерферометр с помощью волоконно-оптического световода и затем разделяется поровну на опорное и образцовое плечи интерферометра.

Свет, рассеянный от неоднородности, возвращается обратно в световод и образует интерференционные полосы со светом, отраженным от образцового плеча. Поскольку оптическая линия задержки может отделить групповую задержку от фазовой задержки, электрооптический фазовый модулятор используется для получения стабильной несущей частоты.

Интерференционный сигнал интенсивности интерференционной полосы усиливается, проходит полосовую фильтрацию и оцифровывается с помощью высокоскоростным аналого-цифровым преобразователем. Обработка сигнала осуществляется одновременно с передачей данных на компьютер, и отображение в реальном времени может быть осуществлено с помощью цифровой обработки сигнала..

Библиографический список

1. Когерентно-оптические методы в измерительной технике и биофотонике: учебное пособие/ Рябухо В.П., Тучина В.В. – Саратов: Сателлит. – 2009. – 127 с.
2. Гришанов В.Н. Оптическая когерентная томография в медицинской диагностике: методические указания. – Самара: СГАУ. – 2015. – 37с.
3. Wolfgang Drexler, James G. Fujimoto Optical coherence tomography: Technology and applications: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2008. – 1346 с.

УДК 62.93, 62-791.2

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ СКАНЕР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ И КОНФИГУРАЦИИ НЁБА

Т.И. Мурашкина, Т.В. Паршикова, В.А. Бадеев

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза

Перечислены недостатки существующих рентгенологических методов исследования челюстно-лицевых патологий, в связи с чем предлагается использовать новое изобретение — волоконно-оптический сканер для определения размеров и конфигурации нёба. Представлена упрощенная конструктивная схема устройства, описан принцип действия.

Ключевые слова: *волоконно-оптический сканер, давление, нёбо, впадина, корпус, источник излучения, оптическое волокно*

FIBER-OPTIC SCANNER FOR DETERMINING THE SIZE AND CONFIGURATION OF THE SKY

T.I. Murashkina, T.V. Parshikova, V.A. Badeev

Penza state university, Penza

The disadvantages of existing radiological methods for the study of maxillofacial pathologies are listed, in connection with which it is proposed to use a new invention - a fiber—optic scanner to determine the size and configuration of the palate. A simplified design scheme of the device is presented, the principle of operation is described.

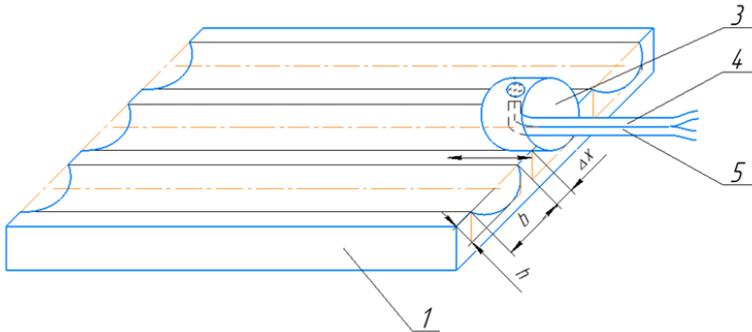
Key words: *fiber-optic scanner, pressure, sky, cavity, housing, source of radiation, fiber-optic fibers.*

В настоящее время челюстно-лицевые патологии выявляются с помощью рентгенологических методов исследования [1]. Недостатки таких средств заключаются в возможном пагубном влиянии их на здоровье пациента, так как возможен электрический пробой электрической части измерительной системы, также невозможно предсказать последствия от действующего излучения. Кроме того, не исключается электромагнитное воздействие со стороны средства измерений на тело пациента, что снижает достоверность результата измерений. Поэтому перед разработчиками стоит задача разработки способа определения диагностических признаков челюстно-лицевых патологий и других заболеваний органов лица и шеи с помощью современных средств измерений, в частности, волоконно-оптических ИК-микросенсоров, для получения достоверной и своевременной информации и установления окончательного диагноза.

Авторами статьи (в соавторстве) предлагается новое изобретение — волоконно-оптический сканер для определения размеров и конфигурации нёба [2]. Это изобретение используется при диагностике заболеваний, связанных с аномалиями ротовой полости, челюстно-лицевых патологий, в

первую очередь, у детей.

На рисунке 1 представлена упрощенная конструкция волоконно-оптического сканера нёба.



1 — основание, 2 — n -направляющие в виде впадин, 3 — корпус с расположенной в нём оптической системой в виде подводящего (ПОВ) и отводящего (ООВ) оптических волокон, 4 — ПОВ, 5 — ООВ

Рис. 1 — Упрощенная конструкция волоконно-оптического сканера нёба

На рисунке 2 представлена схема, поясняющая принцип действия сканера.



ЧЭ — чувствительный элемент

Рис. 2 — Схема, поясняющая принцип действия сканера

Предлагаемое устройство работает следующим образом.

В одной из впадин устанавливается корпус, в котором расположена оптическая система в виде ПОВ и ООВ. Световой поток от источника излучения, а именно от светодиода, по ПОВ направляется на нёбо. Отражённый от него световой поток поступает в приёмный торец ООВ и направляется по нему на приёмник излучения, где преобразуется в электрический сигнал. Корпус перемещается вдоль первой впадины, в k -точках с одинаковыми интервалами с выхода приёмника излучения снимаются электрические сигналы, пропорциональные расстояниям z_{k1} от излучающего торца ПОВ до нёба в данных точках. Результаты заносятся в первую строку матрицы электрических сигналов, которая потом преобразуется в матрицу длины в соответствии с уравнением (1):

$$\left\{ \begin{matrix} I_{11} & I_{21} & \dots & I_{k1} \\ I_{12} & I_{22} & \dots & I_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{1n} & I_{2n} & \dots & I_{kn} \end{matrix} \right\} = k \left\{ \begin{matrix} z_{11} & z_{21} & \dots & z_{k1} \\ z_{12} & z_{22} & \dots & z_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{1n} & z_{2n} & \dots & z_{kn} \end{matrix} \right\} \quad (1)$$

где I_{kn}, z_{kn} – значения электрических сигналов в точках сканирования и соответствующие им расстояния от корпуса до нёба.

Затем аналогичные операции повторяют в каждой впадине, так заполняется матрица длины, в соответствии с которой впоследствии осуществляется 3D-моделирование нёба. Если возникает необходимость, можно напечатать с помощью 3D-принтера деталь, повторяющую профиль и размеры нёба.

Предлагаемый способ определения размеров и конфигурации нёба пациента и новая конструкция устройства волоконно-оптического сканера позволяют уменьшить неудобства для пациентов, также снизить инструментальную и методическую погрешности измерений. Кроме того, сканер располагается в малом объёме рта пациента, то есть он может использоваться для детей. Что немало важно — исключается электромагнитное излучение в полости рта пациента, так как используется абсолютно безопасное оптическое излучение мощность не более 10 мкВт.

Библиографический список

1. Лучевая диагностика в стоматологии / А. Ю. Васильев, Ю. И. Воробьев, Н. С. Серова. – М. : ГЭОТАР Медиа, 2008. – 176 с.; Способы оценки ретенции и дистопии зубов по данным конусно-лучевой компьютерной томографии / З. И. Яруллина, И. В. Яхин // X-RAY ART. – 2013. – № 2 (01). – С. 15–22.
2. Заявка на изобретение № 2022118864/20 11.07.2022 Способ определения размеров и конфигурации нёба и волоконно-оптический сканер для его реализации/ Т.И. Мурашкина, Е.А. Бадеева, Т.В. Гайворонская, Д.И. Серебряков, А.Н. Кукушкин, Ф.С. Аюпова, Ю.А. Васильев, Плотникова Е.Ю., Т.В. Паршикова.

УДК 57.087

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕКОМПЕНСАЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ НАРУШЕНИИ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ

О.В. Ефименко, А.В. Полякова, П.С. Азарова, А.В. Быков, Н.А. Корневский,
А.В. Винников, А.В. Быков, И.В. Медведев
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

В данной статье рассмотрен системный подход к анализу нарушений центральной и регионарной гемодинамики на основе нарушения обмена

веществ. Составлены критерии, позволяющие разделить обменные нарушения на четыре класса по степени тяжести, что позволяет улучшить качество оказываемой медицинской помощи.

Ключевые слова: *декомпенсация центральной гемодинамики, нарушения обмена веществ, нечеткая логика, решающие правила.*

ASSESSMENT OF THE DEGREE OF DECOMPENSATION OF CENTRAL HEMODYNAMICS IN METABOLIC DISORDERS

O.V. Efimenko, A.V. Polyakova, P.S. Azarova, A.V. Bykov, N.A. Korenevsky,
A.V. Vinnikov, A.V. Bykov, I.V. Medvedev
Southwest State University, Kursk

This article considers a systematic approach to the analysis of disorders of central and regional hemodynamics based on metabolic disorders. Criteria have been compiled to divide metabolic disorders into four classes according to severity, which makes it possible to improve the quality of medical care provided.

Key words: *decompensation of central hemodynamics, metabolic disorders, fuzzy logic, decisive rules.*

Введение. Нарушения обмена веществ являются центральным системным фактором дезорганизации функциональной целостности организма. Декомпенсация центральной гемодинамики, прогрессирующая сердечная недостаточность приводит к патологическому изменению скорости клубочковой фильтрации, последствием которого являются различные формы нарушения кислотно-щелочного состояния (КЩС). Последнее обстоятельство усугубляет текущую гипоксемию и тканевую гипоксию. В свою очередь накопление при этом лактата вносит тяжелый патогенетический вклад в нарушение обмена веществ [1].

Материалы и методы. В рандомизированном клиническом исследовании (РКИ) приняли участие 110 пациентов, 55 из которых обследовали по стандартному протоколу, а 55 других по предложенному алгоритму. Группы пациентов сопоставимы. Пациенты рандомизированы по возрасту, полу и патологии. Был проведен разведочный анализ с использованием метода группового учета аргументов (МГУА) и теории латентных переменных с моделью Раша. В ходе разведочного анализа отобраны информативные признаки общего и биохимического анализа крови. Показатели биохимического анализа разделили по уровням значимости на 3 группы. В первую группу вошли рН, PCO_2 , бикарбонат HCO_3^- , K^+ , Na^+ , SO_2 , Cl^- , глюкоза. Вторую группу составляют альдостерон, кортизол, альбумин, СРБ, АДГ, T_4 , эритропоэтин, кальцитриол. В третью группу вошли креатинин, СКФ, лактат, билирубин, АЛТ/АСТ, мочевины, Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{3+} , ренин, ферритин, трансферрин, АКТГ, СТГ, ТТГ, ПТГ, T_3 , метаболиты адреналина, ЩФ, кальцитонин, КФК, V_9 , V_{12} , Ig, ОХС, ИЛ-3,6.

Результаты и их обсуждение. В ходе проведенных исследований был

разработан ряд решающих правил по методологии, описанной в работах кафедры БМИ Юго-Западного государственного университета [2-5].

Частные решающие правила составлены из определенных комбинаций информативных признаков. На основе показателей общего анализа крови были сформированы следующие частные решающие правила: критерий оценки тяжести анемии (КОТА), вариантный показатель анемии (ВАП), активность первичного иммунного звена (АПИЗ), общая иммунная реакция (ОИР), вариантная иммунная реакция (ВИР). Показатели биохимического анализа крови образуют следующие частные решающие правила: кислотно-основной фактор (КОФ), электролитно-кислотно-основной показатель (ЭКОП), критерий оценки водно-электролитных нарушений (КОВЭН), показатель мобилизации обменной компенсации (ПМОК), показатель обмена кальция (ПОК), оценка тиреоидной функции (ОТФ), комплексный показатель обмена кислорода (КПОК), показатель изменений функций печени (ПИФУП), критерий оценки функции надпочечников (КОФН).

В качестве примера частного решающего правила рассмотрим оценку тиреоидной функции (ОТФ). Ниже представлены функции принадлежности для некоторых информативных признаков, входящих в критерий ОТФ.

$$\mu(K^+) = \begin{cases} 0,297, & \text{если } K^+ \leq 2,0; \\ -0,165(K^+) + 0,627, & \text{если } 2,0 < K^+ \leq 3,8; \\ 0, & \text{если } 3,8 < K^+ \leq 5,0; \\ 0,15(K^+) - 0,75, & \text{если } 5,0 < K^+ \leq 7,4; \\ 0,36, & \text{если } K^+ > 7,4. \end{cases}$$

$$\mu(T4) = \begin{cases} 0,11, & \text{если } T4 \leq 9,0; \\ 0, & \text{если } 9,0 < T4 \leq 20,0; \\ 0,16, & \text{если } T4 > 20,0. \end{cases}$$

$$\mu(TTG) = \begin{cases} 0,19, & \text{если } TTG < 0,4; \\ 0, & \text{если } 0,4 \leq TTG < 4,0; \\ 0,12, & \text{если } TTG \geq 4,0. \end{cases}$$

Уверенность в данном критерии U_1 на основе ранее выделенных признаков X_i рассчитывается выражением вида:

$$U_1(i+1) = U_1(i) + \mu(X_{i+1})[1 - U_1(i)], \text{ где } i = 1, 2, \dots, 8; U_1(1) = \mu(X_1).$$

По нескольким частным решающим правилам сформировано из комбинированных решающих правил – критерий влияния обмена веществ (КВОВ). Уверенность в данном критерии US_1 на основе ранее выделенных признаков X_i рассчитывается выражением вида:

$$US_1(n+1) = US_1(n) + U_{n+1} \times [1 - US_1(n)], \text{ где } n = 1, 2, \dots, 14; US_1(1) = U_1.$$

Согласно этому критерию, выделяется 4 класса тяжести состояния обменных процессов пациента: нормальное состояние (I), состояние обменной реверсии (II), тяжелое неосложненное состояние (III), тяжелое

состояние с витальными осложнениями (IV). Отнесение пациента к тому или иному классу определяется по представленным ниже функциям принадлежности ($US_1 = KBOB$) (рис. 1).

$$\mu_I(KBOB) = \begin{cases} 0,9, & \text{если } KBOB < 0,3; \\ -9(KBOB)+3,6, & \text{если } 0,3 \leq KBOB < 0,4; \\ 0, & \text{если } KBOB \geq 0,4. \end{cases}$$

$$\mu_{II}(KBOB) = \begin{cases} 0, & \text{если } KBOB < 0,3; \\ 9(KBOB)-2,7, & \text{если } 0,3 \leq KBOB < 0,4; \\ 0,9, & \text{если } 0,4 \leq KBOB < 0,5; \\ -9(KBOB)+5,4, & \text{если } 0,5 \leq KBOB < 0,6; \\ 0, & \text{если } KBOB \geq 0,6. \end{cases}$$

$$\mu_{III}(KBOB) = \begin{cases} 0, & \text{если } KBOB < 0,5; \\ 9(KBOB)-4,5, & \text{если } 0,5 \leq KBOB < 0,6; \\ 0,9, & \text{если } 0,6 \leq KBOB < 0,7; \\ -9(KBOB)+7,2, & \text{если } 0,7 \leq KBOB < 0,8; \\ 0, & \text{если } KBOB \geq 0,8. \end{cases}$$

$$\mu_{IV}(KBOB) = \begin{cases} 0, & \text{если } KBOB < 0,7; \\ 9(KBOB)-6,3, & \text{если } 0,7 \leq KBOB < 0,8; \\ 0,9, & \text{если } KBOB \geq 0,8. \end{cases}$$

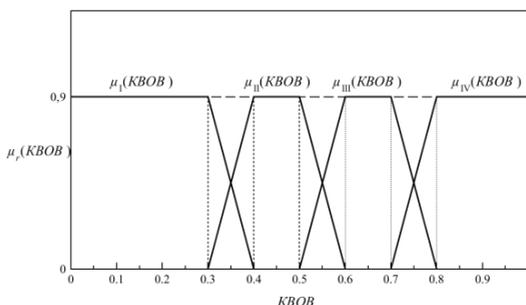


Рис. 1 – График функции принадлежности к классам степени тяжести обменных нарушений по комбинированному решающему правилу KBOB

Финальное решающее правило представлено таким критерием, как глобальная оценка нарушений гемодинамики (ГОНГ). Уверенность в ГОНГ UF с учетом значений комбинированных решающих правил US_m :

$$UF(m+1) = UF(m) + k_{m+1} \times US_{m+1};$$

где $UF(1) = k_1 \times US_1$; m – количество комбинированных решающих правил; k – поправочный коэффициент для расчета финальной уверенности.

По данному критерию тяжесть нарушений гемодинамики пациента характеризуется следующими классами: отсутствие нарушений (I), незначительные нарушения (II), умеренные нарушения (III), критические нарушения (IV) [1]. Отнесение пациента к тому или иному классу определяется по представленным ниже функциям принадлежности ($UF = \text{ГОНГ}$) (рис. 2).

$$\mu_I(\text{ГОНГ}) = \begin{cases} 0,9, & \text{если } \text{ГОНГ} < 0,35; \\ -9(\text{ГОНГ})+4,05, & \text{если } 0,35 \leq \text{ГОНГ} < 0,45; \\ 0, & \text{если } \text{ГОНГ} \geq 0,45. \end{cases}$$

$$\mu_{II}(\text{ГОНГ}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \text{ГОНГ} < 0,35; \\ 9(\text{ГОНГ})-3,15, & \text{если } 0,35 \leq \text{ГОНГ} < 0,45; \\ 0,9, & \text{если } 0,45 \leq \text{ГОНГ} < 0,5; \\ -9(\text{ГОНГ})+5,4, & \text{если } 0,5 \leq \text{ГОНГ} < 0,6; \\ 0, & \text{если } \text{ГОНГ} \geq 0,6. \end{cases}$$

$$\mu_{III}(\text{ГОНГ}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \text{ГОНГ} < 0,5; \\ 9(\text{ГОНГ})-4,5, & \text{если } 0,5 \leq \text{ГОНГ} < 0,6; \\ 0,9, & \text{если } 0,6 \leq \text{ГОНГ} < 0,8; \\ -9(\text{ГОНГ})+8,1, & \text{если } 0,8 \leq \text{ГОНГ} < 0,9; \\ 0, & \text{если } \text{ГОНГ} \geq 0,9. \end{cases}$$

$$\mu_{IV}(\text{ГОНГ}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \text{ГОНГ} < 0,8; \\ 9(\text{ГОНГ})-7,2, & \text{если } 0,8 \leq \text{ГОНГ} < 0,9; \\ 0,9, & \text{если } \text{ГОНГ} \geq 0,9. \end{cases}$$

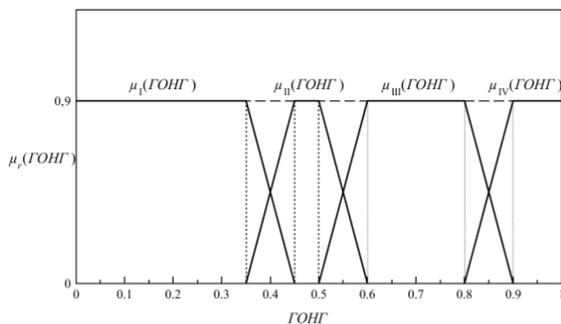


Рис. 2 – График функции принадлежности к классам степени тяжести обменных нарушений по финальному решающему правилу ГОНГ

Решение о принадлежности к тому или иному классу принимается по величине максимального значения функции $\mu_i(\text{ГОНГ})$:

$$\text{ГОНГ}_r = \max[\mu_I(\text{ГОНГ}), \mu_{II}(\text{ГОНГ}), \mu_{III}(\text{ГОНГ}), \mu_{IV}(\text{ГОНГ})].$$

Заключение. В статье представлен алгоритм оценки степени декомпенсации гемодинамики в связи с нарушениями обмена веществ. Разработанный метод позволяет определить скорость оказания неотложной помощи, установить этапность и вид оказания медицинской помощи, выбрать объем оказания медицинской помощи.

Библиографический список

1. Пат. 2691932. Российская Федерация. МПК А61В5/02 G06F17/00 G01N33/48 Способ прогнозирования степени тяжести ишемического процесса сердца, головного мозга и нижних конечностей на основании оценки центральной и регионарной гемодинамики органов / Быков А.В., Корневский Н. А. заявл. 18.25.2017; опубл. 18.06.2017, Бюл. № 17.
2. Корневский, Н.А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики / Н.А. Корневский // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2005. – Т.4 (№1). – С. 12-20.
3. Корневский, Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем / Н.А. Корневский // Медицинская техника. – 2015. – №1. – С. 33-35.
4. Корневский, Н.А. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография / Н.А. Корневский, С.Н. Родионова, И.И. Хрипина. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. – 472.
5. Корневский, Н.А. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний / Н.А. Корневский, М.В. Артеменко, В.Я. Провоторов, Л.А. Новикова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2014. –Т.13. – № 4. – С. 881-886.

УДК 621.3.087.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПАЦИЕНТА ВО ВРЕМЯ СЕАНСА МАГНИТОТЕРАПИИ

О.В. Аникина, С.Г. Гуржин

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрены вопросы моделирования измерительно-диагностической системы для оперативной оценки уровня эмоционального напряжения пациента во время сеанса магнитотерапии. Предложена структура исследовательской системы анализа сигналов дыхания и сердцебиения для оценки уровня эмоционального напряжения пациента и алгоритмы ее работы.

Ключевые слова: *фотоплетизмограмма, пульсовая волна, пневмограмма, дыхательная волна, неравномерность ритма дыхания, артериальное давление, показатели эмоционального напряжения – стресса, виртуальный прибор.*

SIMULATION OF A SYSTEM FOR OPERATIONAL ASSESSMENT OF THE LEVEL OF EMOTIONAL STRESS OF A PATIENT DURING A SESSION OF MAGNETOTHERAPY

O.V. Anikina, S.G. Gurzhin

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The issues of modeling a measuring and diagnostic system for the rapid assessment of the level of emotional stress of a patient during a magnetic therapy session are considered. The structure of the research system for analyzing respiration and heartbeat signals for assessing the level of the patient's emotional stress and the algorithms for its operation are proposed.

Key words: *photoplethysmogram, pulse wave, pneumogram, respiratory wave, uneven breathing rhythm, blood pressure, indicators of emotional stress - stress, virtual instrument.*

Медицинская технология комплексной хрономагнитотерапии «Мультимаг-М» [1], на сегодняшний день, предусматривает во время проведения сеанса магнитотерапии оперативное и непрерывное измерение параметров двух жизненно важных физиологических процессов пациента – дыхания и сердцебиения, а также определение насыщения крови кислородом (сатурацию).

Однако анализируемые процессы в рамках заданных лечебных методик рассматриваются независимо друг от друга и как случайные события, а оцениваемые их диагностические показатели являются малоинформативными на коротком интервале времени сеанса магнитотерапии.

Для повышения эффективности магнитотерапии, расширения функциональных и информационных возможностей интегрируемых диагностических средств разработана структура исследовательской системы, позволяющая регистрировать, обрабатывать, измерять параметры и анализировать сигналы дыхания, сердцебиения и артериального давления, а также оперативно оценивать уровень эмоционального напряжения пациента по ряду достоверных и апробированных показателей (рис. 1).

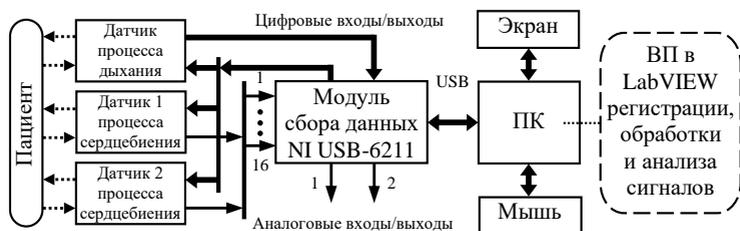


Рис. 1 – Структура исследовательской диагностической системы

В качестве датчика процесса дыхания предлагается использовать ультразвуковой датчик типа HC-SR04, оснащенный микроконтроллером, который преобразует линейные перемещения грудной клетки пациента во временной интервал. В качестве датчиков процесса сердцебиения планируется использовать фотометрические датчики APDS-9008, работающие на отражение светового потока. Ими будут регистрироваться пульсовые волны в разных местах руки пациента, на запястье и предплечье, для последующих непрерывных косвенных измерений артериального давления безманжетным способом.

Для стандартного сопряжения с персональным компьютером (ПК) будет применено многофункциональное устройство сбора данных компании National Instruments USB-6211. Оно имеет 16 каналов аналогового ввода, с возможностью индивидуального конфигурирования входных диапазонов для каждого из каналов (4 режима от $\pm 0,2$ до ± 10 В), частоту опроса до 250 кГц и разрешение АЦП 16 бит, а также встроенный усилитель, 2 аналоговых выхода и 8 цифровых входов/выходов. Устройство поддерживает технологию потоковой передачи сигналов по USB, которая позволяет выполнять двунаправленную высокоскоростную потоковую передачу данных.

Оригинальной частью системы является набор виртуальных приборов (ВП) в среде графического программирования LabVIEW, которые обеспечивают автоматическую, объективную и синхронную регистрацию жизненно важных физиологических процессов пациента в реальном масштабе времени. Во время сеанса магнитотерапии ВП производят также обработку, всевозможный анализ исследуемых сигналов и определение различных диагностических показателей, в том числе и уровня эмоционального напряжения – стресса.

Алгоритмы работы ВП по анализу биомедицинских сигналов и оценке уровня стресса базируются на ряде известных и общепризнанных в медицинском сообществе методах:

1. **Метод анализа вариабельности сердечного ритма (BCP)** [2], который объективно отражает степень напряжения регуляторных систем организма, обусловленного любым воздействием и, в частности, реакцию

вегетативной нервной системы при воздействии на человека электромагнитным полем. Одним из множества показателей ВСП является индекс напряжения регуляторных систем или стресс индекс (ИН, SI – Stress Index), характеризующий активность механизмов симпатической регуляции и состояние центрального контура регуляции. Исходной информацией для расчета показателей вариационной пульсометрии служит распределение кардиоинтервалов ($R-R$ интервалов), рассматриваемых как случайные величины.

$$IH = \frac{AMo}{2Mo \cdot VR},$$

где Mo – мода, наиболее часто встречающееся значение $R-R$ интервала, AMo – амплитуда моды, число зарегистрированных кардиоциклов, соответствующих интервалу Mo , VR – вариационный размах, разность между максимальным и минимальным значениями $R-R$ интервалов.

2. Метод динамического измерения вегетативных параметров и определения их коэффициентов взаимной корреляции [3].

Результаты исследований, полученные авторами метода, достоверно свидетельствуют о том, что коэффициенты взаимной корреляции между основными вегетативными показателями *частотой сердечных сокращений* (ЧСС), *частотой дыхания* (ЧД) и *артериальным давлением* (АД) являются надежными критериями эмоционального стресса.

В этом случае определялись зависимости между тремя величинами X, Y, Z или так называемые *выборочные множественные (сводные) коэффициенты корреляции* R_x, R_y, R_z и коэффициент «мощности» корреляции $\rho = \sqrt{R_x + R_y + R_z}$, которые явились наиболее информативными показателями стресса.

3. Метод одновременной и синхронной регистрации кардиоритмограммы и пневмограммы [4].

Метод предполагает регистрацию сигналов сердцебиения и дыхания у пациента с помощью датчиков в течение 5 минут. Далее производится их оцифровка и формирование динамических рядов отсчетов необходимого объема выборок, по которым определяется корреляционное отношение:

$$\eta_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 - \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_y)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}},$$

где η_{xy} – корреляционное отношение, x_i – отсчеты выборки кардиоинтервалов, ранжированных по дыханию, \bar{x} – среднее арифметическое отсчетов выборки кардиоинтервалов, ранжированных по

дыханию, \bar{x}_y – частное среднее арифметическое выделенных классов кардиоинтервалов, ранжированных по дыханию, n – количество выборок.

Данный показатель, по мнению авторов более достоверно отражает респираторно-кардиальные отношения, а, следовательно, и стрессовое состояние человека.

4. *Метод измерения неравномерности ритма дыхания* [5].

Пневмография считается одним из самых чувствительных методов исследования эмоционального состояния организма человека и животных.

В основу метода положена концепция К.В. Судакова о системном квантовании повторяющихся физиологических процессов, где каждый дыхательный цикл представляет собой самостоятельное, а не случайное событие, как это предполагает статистический анализ.

Метод учитывает последовательность дыхательных циклов, важнейшим параметром которых является их длительность.

Сопоставляются длительности смежных дыхательных циклов

$$НД = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{|T_i - T_{i+1}|}{T_i + T_{i+1}} \cdot 100\% ,$$

где T_i – длительность i -го дыхательного цикла, i – порядковый номер цикла, n – число исследуемых циклов.

Таким образом, предлагается система на базе ПК для всестороннего исследования реакций организма пациента на заданный набор биотропных параметров лечебного магнитного поля по трем физиологическим показателям – ритму сердцебиения, ритму дыхания и изменениям АД, которая реализует различные методы определения уровня эмоционального напряжения.

Библиографический список

1. Гуржин С.Г., Жулев В.И., Лапкин М.М., Прошин Е.М., Шуляков А.В. Кардиореспираторный мониторинг пациента в комплексной хрономагнитотерапии // Биомедицинская радиоэлектроника, Т. 25. № 4. 2022. С. 6-15.
2. Бавеский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. – М.: Наука, 1984. – 224 с.
3. Патент РФ 2073484. Способ определения эмоционального стресса и устройство для его осуществления // Е.А. Юматов, К.В. Судаков, О.П. Тараканов // Открытия. Изобретения. Оpubл. 20.02.1997. Бюл. №1.
4. Патент РФ №2392848. Способ диагностики стресса у человека / М.М. Лапкин, Р.П. Карасев // Открытия. Изобретения. Оpubл. 27.06.2010. Бюл. №18.
5. Вагин Ю.Е. Неравномерность ритма дыхания как показатель эмоционального напряжения // Сеченовский вестник, 2015. № 2(20). С. 13-23.

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПОР КАЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ

И.И. Хайрутдинов, В.В. Марков

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл

Обоснована актуальность проблема оценки опор качения механических узлов медицинской техники. Проведён обзор медицинской техники, содержащей механические части с опорами качения. Выполнен анализ влияния состояния опор качения на показатели функционирования медицинской техники.

Ключевые слова: медицинская техника; механика, опора качения; подшипник качения; диагностическая техника; лабораторная аппаратура

PROBLEM OF ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF ROLLING BEARINGS OF MECHANICAL UNITS OF MEDICAL EQUIPMENT

I.I. Khayrutdinov, V.V. Markov

Oryol state university named after I.S. Turgenev, Oryol

The relevance of the problem of evaluation of rolling bearings of mechanical units of medical equipment is substantiated. A review of medical equipment containing mechanical parts with rolling bearings is carried out. The analysis of the influence of the state of rolling bearings on the performance of medical equipment was carried out.

Keywords: medical equipment; mechanics, rolling support; friction bearing; diagnostic equipment; laboratory equipment

Актуальной проблемой совершенствования медицинских аппаратов, систем и комплексов является улучшение показателей их функционирования. Известно достаточно большое количество научных работ и учебников, освещающих вопросы повышения технического уровня электронных блоков медицинской техники. Работы, направленные на повышение технического уровня механических частей медицинской техники, известны в много меньшей степени. Поэтому исследование законов функционирования механических узлов диагностической и лабораторной медицинской техники является актуальной проблемой как для производства, так для технического и сервисного обслуживания, диагностики и ремонта [1].

Цель работы – обзор механических узлов медицинской техники, содержащих опоры качения, техническое состояние которых влияет на её функционирование.

Задачи исследования: выполнить обзор видов медицинской техники, содержащих опоры качения; провести качественный анализ влияния состояния опор качения на функциональные показатели медицинской техники; определить направления внедрения результатов исследования.

Опоры качения входят в состав диагностической медицинской техники, таких, как аппараты магниторезонансной томографии (МРТ) и компьютерной томографии (КТ). Аппарат МРТ: узел линейного перемещения пациента. Состояние опоры качения влияет на точность линейного перемещения пациента. Аппарат КТ: узел линейного перемещения пациента и узел высокоскоростного вращения блока излучателей. Состояние опоры качения также влияет на точность линейного перемещения пациента.

Элементы сканирующего устройства КТ размещаются на массивной плите, которая вращается вокруг окна гентри (так называется электромеханический узел сканирования) [2]. Рентгеновская трубка и блок датчиков прикреплены к раме. Вся эта конструкция линейно перемещается относительно несущей плиты с помощью электродвигателя через редуктор и ременно-зубчатую передачу. Вращательное движение осуществляется с помощью электродвигателя через систему передач. Электродвигатель через редуктор и кривошипно-шатунный механизм приводит в движение лапку, которая цепляется за зубец колеса, неподвижно закрепленного на корпусе гентри, и подтягивает основание на три зубца. Всего колесо имеет 360 зубцов и, таким образом, происходит угловое перемещение на 3° .

При линейном сканировании система трубка - блок детекторов движется непрерывно. Важно, чтобы это движение было относительно бесшумным и без пробуксовки. Для этого и применяется зубчато-ременная передача из пластиковой ленты.

Дискретные отсчеты вдоль направления сканирования получают с помощью прозрачной линейки с нанесенными на ней рисками. Эти риски фиксируются ИК оптоэлектронной парой, которая синхронно движется вместе с системой трубка-детектор. Количество линейных отсчетов обычно составляет около 500 на расстоянии 25 см, т.е. отсчеты делаются через 0,5 мм. Это требует высокой точности при изготовлении линейки. И все же разброс временных интервалов между отдельными отсчетами неизбежен. Он обусловлен неточностью линейки, дифракцией ИК света и непостоянством скорости линейного перемещения (хотя скорость вращения электродвигателя 3 и стабилизируют). Однако эти временные интервалы нужно измерять с высокой точностью, так как от нее зависит качество изображения, получаемое с помощью операции свертки.

Опоры качения входят в состав автоматических аппаратов для анализа состава и свойств биологических жидкостей и физиологических растворов [3, 4]. Данные аналитические аппараты содержат центрифуги, в которых к опорам качения предъявляются требования к надёжности в условиях высоких скоростей вращения, повышенной температуре функционирования и наличию агрессивных факторов окружающей среды. В опорах качения аналитического лабораторного оборудования используются керамические подшипники, рассчитанные на скорости свыше 40 тыс. об/мин.

Опоры качения входят в состав аналитических аппаратов гемодиализа [5]. Данные аналитические аппараты содержат насос или насосы,

перистальтического типа, используемые для перекачки крови. От состояния роликов в составе которых находятся подшипники, зависит корректность процесса перекачки и повторяемость результата [6].

Достаточно большой объём механических частей имеется в аппаратах восстановительной физкультуры [7]. В аппаратах восстановительной физкультуры опоры качения отвечают за равномерное поступательное вращение и соответствие выставленных оборотов при выполнении лечебных упражнений.

Состояние опор качения в медицинских аппаратах влияет на конечные показатели исследования и точность диагностирования. Так, в случае аппаратов МРТ и КТ при нарушении функционирования механизма линейного перемещения конечное сканированное изображение может содержать дефекты и привести к ошибочным выводам при диагностировании. В случае аппарата гемодиализа нарушение работы роликового узла, ведет к возможному нарушению дозировки крови. В случае аппаратов лечебной физкультуры может быть приложено чрезмерное физическое усилие.

Библиографический список

- 1 Корневский, Н.А. Узлы и элементы медицинской техники: Учебное пособие / Н.А. Корневский, Е.П. Попечителей: Изд-во «Универсум», 2009 . – 426 с.
- 2 Устройство и работа отдельных узлов рентгеновского компьютерного томографа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studbooks.net/2353249/tehnika/ustroystvo_i_rabota_otdelnyh_uzlov_rentgenovskogo_kompyuternogo_tomografa.
- 3 Урванцева, Г.А. Методы анализа живых систем: Учебное пособие / Г.А. Урванцева, Е.Л. Грачева. – Ярославль: ЯрГУ, 2013. – 104 с.
- 4 Центрифуги. Устройство и работа [Электронный ресурс] / Журнал «Спецтехника». – Режим доступа: <https://spec-machine.ru/stanki/czentrifugi-ustrojstvo-i-rabota/>.
- 5 Стецюк, Е.А. Основы гемодиализа: Справочное руководство / Е.А. Стецюк; Под ред. проф. Е.Б. Мазо. – М.: ГЭОТАР-МЕД, 2001. – 320 с.
- 6 Кормильцин, Г.С. Основы диагностики и ремонта химического оборудования: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Г.С. Кормильцин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 120 с. – Режим доступа: <https://tstu.ru/book/elib/pdf/2007/korm.pdf>.
- 7 Журавлева, А.И. Формы и методы лечебной физкультуры: Учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / А.И. Журавлева; ГБОУ ДПО «Российская медицинская академия последипломного образования». – М.: ГБОУ ДПО РМАПО, 2016. – 65 с. – Режим доступа: <http://irbis.rmapo.ru/UploadsFilesForIrbis/7117d3d6072cd961ccd5f4388e5dee8b.pdf>.

УДК 687.174

**БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ
СВОЙСТВ ОДЕЖДЫ И УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ
СОСТОЯНИЕМ ЧЕЛОВЕКА В ОДЕЖДЕ**

В.Э. Тришин, В.В. Марков, М.В. Яковенко
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл

Представлен один из подходов к созданию биотехнической системы контроля теплозащитных свойств одежды и управления физиологическим состоянием человека в одежде. Представлена структурная схема, изложены принципы встраивания системы в конструкцию одежды.

Ключевые слова: *одежда, тепловой комфорт, тепловой обмен; физиологическое состояние человека; теплозащитные свойства одежды*

**BIOTECHNICAL SYSTEM FOR CONTROL OF THE HEAT
PROTECTIVE PROPERTIES OF CLOTHES AND CONTROL OF THE
PHYSIOLOGICAL STATE OF A HUMAN IN CLOTHING**

V.V. Markov, V.E. Trishin, M.V. Yakovenko
Oryol state university named after I.S. Turgenyev, Oryol

One of the approaches to the creation of a biotechnical system for monitoring the heat-shielding properties of clothing and controlling the physiological state of a person in clothing is presented. A block diagram is presented, the principles of embedding the system in the design of clothing are outlined.

Keywords: *clothing, thermal comfort, heat exchange; the physiological state of a person; heat-shielding properties of clothing*

История развития человеческого общества – это история движения человека от выживания в окружающей среде к чувству комфорта. Человек стремится окружить себя комфортными условиями в любой окружающей среде. И одежда, которую носит человек, не является исключением. В связи с этим проблема создания и исследования биотехнической системы «человек-одежда» является актуальной [1].

Цель работы – изложение одного из подходов к структурному решению биотехнической системы контроля теплозащитных свойств одежды и управления физиологическим состоянием человека в одежде, соответствующим тепловым показателям комфортных условий.

Задачи исследования: определить показатели комфортных условий человека в одежде; составить математическую модель теплозащитных свойств одежды и физиологического состояния человека в одежде; разработать структурное решение биотехнической системы контроля теплозащитных свойств одежды и управления состоянием человека в одежде.

Теория теплозащитных свойств одежды достаточно подробно изучена учёными, которые специализируются на исследовании теплозащитных

свойств материалов одежды. В процессе выполнения данного исследования сделан обзор известных научных работ [1-4].

Одежда, которую носит человек, должна создавать ощущение комфорта. Известна система показателей комфорта человека в одежде, включающая [2]: тепловые показатели комфорта (температура кожи человека в одежде); гигроскопические показатели комфорта (влажность кожи человека в одежде); антропометрические показатели комфорта (размеры одежды); физиологические показатели комфорта (например, масса одежды); психофизиологические показатели комфорта (удобство эксплуатации одежды); эстетические показатели комфорта (соответствие моде и стилю).

Структурное решение и визуализация биотехнической системы контроля теплозащитных свойств одежды и управления состоянием человека в одежде показано на рисунке 1.

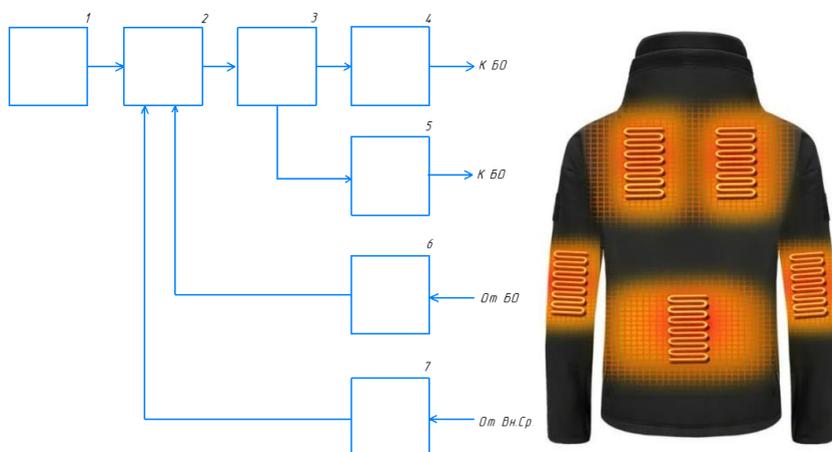


Рис. 1 – Структурное решение и визуализация биотехнической системы

Принцип действия системы заключается в следующем. Датчик температуры 7 фиксирует значение температуры на внешнем слое куртки. Если разница между двумя последними измеренными значениями превышает 50С, микроконтроллер 2 посылает управляющий сигнал на блок силовых транзисторов 3, которые активируют нагревательные элементы 4 и 5. Датчик температуры 6 фиксирует значение температуры на внутреннем слое одежды на 1 см выше нагревательного элемента. Если разница показаний составляет 5 0С, микроконтроллер 2 выключает нагревательные элементы. Устройство находится 10 мин в режиме ожидания, после чего цикл повторяется. Блоком управления 1 можно включить режим постоянного подогрева.

Разработанное устройство предназначено для создания комфортных условий пребывания человека в одежде в условиях резкой смены температуры или низких температур. Устройство оснащено Li-On батареями,

двумя датчиками температуры и четырьмя ленточными нагревательными элементами. Так же оно имеет функцию регулировки поддерживаемой температуры. Особенностью разрабатываемого устройства является реализация биологической обратной связи, которая реализуется путем измерения температуры на внутреннем слое одежды и дальнейшим ее регулированием благодаря нагревательным элементам.

В зависимости от предпочтений человек может адаптировать устройство под личные потребности и предпочтения таким образом, что ему не будет холодно, но и не будет жарко, так как, в зависимости от измеренной температуры, нагревательные элементы будут включаться и отключаться.

Наличие биологической обратной связи учитывает индивидуальные особенности каждого человека, и в соответствии с этим осуществляется процесс управления обогревом.

Для защиты управляющего блока от воздействия влаги, он залит в компаунд. В качестве нагревательных элементов используются тонкие нихромовые пластины которые находятся между двух листов полиэтилена. Это повышает износостойкость и защищает элемент от влаги. В случае выхода из строя нагревательного элемента нихромовая пластина, ширина которой 1 мм разрывается и не функционирует. Имеется возможность оперативной замены любого из элементов, будь то нагревательный элемент или датчик температуры. Совокупность герметичных блоков управления и нагревательных элементов обеспечивает стирку без демонтажа системы.

Библиографический список

- 1 Закиряева, Н. Г. Математическая модель одежды, предназначенной для эксплуатации в жарких климатических условиях / Н. Г. Закиряева, М. Ж. Жалолова, С. У. Пулатова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2014. – № 4 (63). – С. 170-173. – URL: <https://moluch.ru/archive/63/8430/> (дата обращения: 06.11.2021).
- 2 Сулин, А.Б. Индексы теплового комфорта: Учебно-методическое пособие / А.Б. Сулин, Т.В. Рябова, А.К. Рубцов, А.А. Никитин; Под ред. А.Б. Сулина и Т.В. Рябовой. СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 36 с
- 3 Абрамов, А.В. Методика определения теплозащитных свойств текстильных материалов / А.В. Абрамов, Ю.С. Шустов // В сборнике: Сборник научных трудов, посвященный 75-летию кафедры Материаловедения и товарной экспертизы. под ред. Шустова Ю.С., Буланова Я.И., Курденковой А.В., Москва, 2019. С. 216-219.
- 4 Родичева, М.В. Развитие методов исследования микроциркуляции крови и теплового состояния человека при оценке эксплуатационной эффективности одежды / М.В. Родичева, А.В. Абрамов, Ю.И. Локтионова, А.И. Жеребцова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4-1 (336). С. 42-51.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕРЕБРАЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ В ДИНАМИКЕ У ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКЛ-КОНТРАСТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Н.В. Голубова¹, Е.С. Серёгина¹, Е.Ф. Шевцова², В.В. Дрёмин¹, Е.В. Потапова¹

¹ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», Научно-технологический центр биомедицинской фотоники, г. Орел

²ИФАВ РАН, Лаборатория биомолекулярного скрининга, г. Черногловка

Рассмотрено применение метода лазерной спекл-контрастной визуализации для получения характеристик мозгового кровообращения лабораторных крыс при введении им физиологически активного вещества. Представлены результаты визуализации сосудов головного мозга, а также проведенный частотный анализ полученных сигналов.

Ключевые слова: лазерная спекл-контрастная визуализация, динамика кровообращения, вейвлет-преобразование, физиологически активный препарат.

CHARACTERIZATION OF THE CEREBRAL BLOOD FLOW DYNAMICS IN LABORATORY RATS BY LASER SPECKLE CONTRAST IMAGING

N.V. Golubova¹, E.S. Seryogina¹, E.F. Shevtsova², V.V. Dremin¹, E.V. Potapova¹

¹Orel State University, Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel

²IPAC RAS, Laboratory of Biomolecular Screening, Chernogolovka

The application of laser speckle contrast imaging for obtaining the characteristics of cerebral circulation in laboratory rats with injection of a physiologically active substance is considered. The results of cerebral vascular imaging, as well as the frequency analysis of the received signals, are presented.

Key words: laser speckle contrast imaging, blood circulation dynamics, wavelet transform, physiologically active drug.

Изучение церебрального кровообращения возможно с помощью различных методов оптической диагностики. Метод лазерной спекл-контрастной визуализации (ЛСКВ) позволяет визуализировать всю область исследования с высоким пространственным и временным разрешением с последующей возможностью проведения частотного анализа получаемого сигнала [1], что может помочь в доклинических исследованиях различных экспериментальных фармацевтических веществ. В данной работе проводилось изучение воздействия мультитаргетного препарата ТГ-2112х на гемодинамику коронарных сосудов. Используемый препарат направлен на лечение нейродегенеративных заболеваний и имеет возможность применения при ишемических поражениях мозга [2].

Таким образом, целью исследования явилось картирование церебральных сосудов лабораторных крыс и расчет динамических характеристик кровотока у животных из контрольной группы и группы с введением мультитаргетного препарата ТГ-2112х.

В качестве моделей были выбраны лабораторные крысы линии Вистар (N=3 в каждой группе, возраст 2 месяца). Контрольная группа получала раствор диметилсульфоксида (ДМСО) и физиологического раствора (ФР) в пропорции 1/9 в общем объеме 1 мл. Экспериментальная группа получала активный раствор, для приготовления которого сухая смесь ТГ-2112х (10 мг/кг) растворялась предварительно в ДМСО, а позже дополнялась ФР в той же пропорции в том же общем объеме. Каждому животному инъекция производилась внутривенно, регистрация данных ЛСКВ проводилась спустя 3 часа.

После наркотизации животное подключалось к хирургическому монитору Rodent Surgical Monitor+ (Indus Instruments, США) для отслеживания физиологических параметров во время проведения эксперимента, голова фиксировалась в стереотаксической установке и проводилось удаление кожного покрова над лобной и теменной областью. Регистрация данных проходила транскраниально, длительность записи составляла 15 минут. Все манипуляции с животными были одобрены этическим комитетом Орловского государственного университета (протокол № 10 от 16 октября 2018 г.).

Установка лазерной спекл-контрастной визуализации включала в себя лазерный источник излучения LDM785 (Thorlabs, США) с длиной волны 785 нм, перед которым помещалась система оптических диффузоров. Спекл-картина регистрировалась монохромной камерой UI-3360CP-NIR-GL Rev 2 через объектив MVL25TM23 (Thorlabs, США) и линейный поляризатор для ближней инфракрасной области излучения.

При обработке данных с помощью специально разработанного программного кода на спекл-изображениях каждого животного выделялись и рассчитывались 3 области интереса. Пример получаемого спекл-изображения представлен на рисунке 1. Полученные значения спекл-контраста пересчитывались в перфузию [3] для каждой группы. Между двумя массивами значений, согласно проверке по критерию Манна-Уитни, существуют статистически значимые различия. При этом результаты демонстрируют снижение значений средней перфузии у экспериментальной группы в отличие от контроля.

Для получения динамических характеристик микроциркуляции выполнялось вейвлет-преобразование массива значений перфузии для каждого животного. Проводился анализ дыхательных и сердечных ритмов колебаний кровотока, подтвержденных по частотной локализации при помощи информации с хирургического монитора.

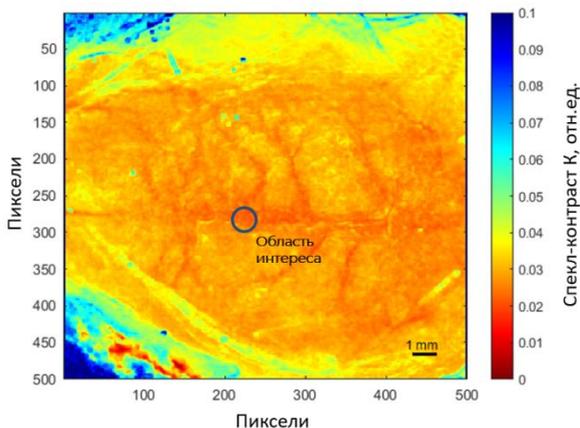


Рис. 1 – Спекл-контрастное изображение исследуемой области

При сравнении средних значений амплитуд дыхательных и сердечных ритмов у животных из экспериментальной группы было выявлено снижение полученных значений.

Физиологическое значение изменений в динамике церебральной микроциркуляции лабораторных крыс, подвергшихся инъекции препарата ТГ-2112х, будет являться предметом дальнейших исследований.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 22-75-10088.

Библиографический список

1. Piavchenko, G., Kozlov, I., Dremin, V., Stavtsev, D., Seryogina, E., Kandurova, K., Shupletsov, V., Lapin, K., Alekseyev, A., Kuznetsov, S., Bykov, A., Dunaev, A., Meglinski, I. Impairments of cerebral blood flow microcirculation in rats brought on by cardiac cessation and respiratory arrest // Journal of Biophotonics. – 2021. – V.14, №12. – P. e202100216.
2. Angelova, P.R., Vinogradova, D., Neganova, M.E., Serkova, T.P., Sokolov, V.V., Bachurin, S.O., Shevtsova, E.F., Abramov, A.Y. Pharmacological Sequestration of Mitochondrial Calcium Uptake Protects Neurons Against Glutamate Excitotoxicity // Molecular neurobiology. – 2019. – V.56, №3. – P. 2244–2255.
3. Mizeva, I., Dremin, V., Potapova, E., Zherebtsov, E., Kozlov, I., Dunaev, A. Wavelet Analysis of the Temporal Dynamics of the Laser Speckle Contrast in Human Skin // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2020. – V.67, №7. – P. 1882-1889.

ПРИМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЦИФРОВОЙ ДИАФАНОСКОПИИ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНЫХ ПАЗУХ

Е.О. Брянская

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», Орёл

В данной работе рассчитаны количественные параметры для зарегистрированных диафаногрaмм верхнечелюстных пазух, построена модель классификации, основанная на линейном дискриминантном анализе. Полученные значения чувствительности и специфичности показали эффективность применения синтезированной модели классификации.

Ключевые слова: *оптическая диагностика, диафаноскопия, верхнечелюстные пазухи, воспалительные заболевания, количественный анализ.*

APPLICATION OF QUANTITATIVE IMAGE ANALYSIS IN DIGITAL DIAPHANOSCOPY OF MAXILLARY SINUS

E.O. Bryanskaya

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

In this paper quantitative parameters for registered maxillary sinus diaphanograms are calculated, and a classification model based on linear discriminant analysis is constructed. The obtained sensitivity and specificity values showed the effectiveness of the synthesized classification model.

Keywords: *optical diagnostics, diaphanoscopy, maxillary sinuses, inflammatory diseases, quantitative analysis.*

Метод цифровой диафаноскопии базируется на оптическом зондировании верхнечелюстных пазух (ВЧП) в видимом и ближнем инфракрасном спектре (650 и 850 нм), и последующей регистрации диафаногрaмм [1,2]. Данный метод может быть применен в телемедицине, а также для скрининга населения [3,4], с целью разделения группы бессимптомных лиц на два класса: с наличием и отсутствием патологии ВЧП. При этом вывод о наличие патологического изменения делается на основании присутствия в области ВЧП поглощения, связанного с оптическими свойствами патологических изменений на длинах волн зондирования.

Проведенные предварительные исследования пациентов с заболеваниями ВЧП показали необходимость количественной оценки зарегистрированных диафаногрaмм. В связи с этим, цель данного исследования заключается в разработке модели классификации и формировании диагностических критериев, позволяющих проводить скрининг заболеваемости населения с меньшей вероятностью ложноотрицательного результата [5].

Было исследовано 49 условно здоровых добровольцев возраста от 18 до 27 лет, и 42 пациента в возрасте от 14 до 68 лет с наличием различных

воспалительных заболеваний ВЧП. Исследования с участием пациентов проводились в оториноларингологическом отделении Университетской клиники МГМСУ им. А.И. Евдокимова (г. Москва), и на базе Диагностического центра ООО «Меди Скан» (г. Орёл). Зарегистрированные результаты исследований пациентов сравнивались с эталонными методами КТ и МРТ [6].

С целью построения модели классификации для разделения объектов исследования на два класса (здоровый и с наличием воспалительного заболевания) были рассчитаны количественные параметры зарегистрированных диафаногрмм. Расчет заключался в нахождении центральной линии лица на зарегистрированных изображениях и вычислении коэффициента корреляции между левой и правой частями лица. Также определялся параметр интенсивности, характеризующий величину излучения, дошедшую до детектора камеры после поглощения биологическими слоями и различными патологиями.

Анализ данных показал статистически значимую разницу между рассчитанными показателями для условно здоровых добровольцев и пациентов с патологическими изменениями ВЧП при $p < 0,05$ по критерию Манна-Уитни (Рис. 1).

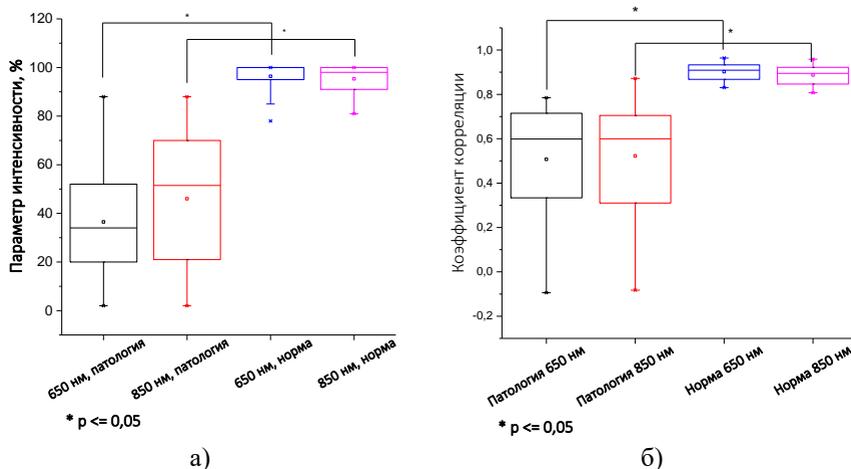


Рис. 1 – Результаты статистической обработки рассчитанных количественных параметров: а – параметр интенсивности, б – коэффициент асимметрии

Параметр интенсивности при зондировании ВЧП длиной волны 650 нм составил: для здоровых добровольцев – 100 ± 3 отн.ед., для пазух с патологией – 34 ± 22 отн.ед. При зондировании ВЧП длиной волны 850 нм значения параметра интенсивности было следующим: для здоровых добровольцев – 100 ± 4 отн.ед., для пазух с патологией – 51 ± 25 отн.ед.

Коэффициент корреляции для длины волны 650 нм составил $0,9 \pm 0,03$ отн.ед. для условно здоровых добровольцев и $0,6 \pm 0,2$ отн.ед. для пациентов с патологиями. При использовании длины волны 850 нм коэффициент корреляции составил $0,9 \pm 0,04$ отн.ед. и $0,6 \pm 0,2$ отн.ед. для здоровых добровольцев и пациентов соответственно.

В качестве подхода при построении модели был выбран линейный дискриминантный анализ. Полученные значения чувствительности и специфичности говорят о высоком уровне эффективности синтезированной модели классификации (для длины волны 650 нм чувствительность составила 0,902, специфичность – 1,0; для длины волны 850 нм чувствительность составила 0,927, специфичность – 1,0). В дальнейшем для исключения переобучения модели классификации выборка может быть увеличена.

Таким образом, предлагаемый подход, основанный на количественной оценке зарегистрированных диафаногамм, позволяет проводить быстрый скрининг заболеваемости населения, разделяя группу бессимптомных лиц на два класса в зависимости от отсутствия и наличия воспалительного заболевания в ВЧП.

Библиографический список

1. Zabarylo, U.J. Methodische Untersuchungen zur Bildbearbeitung von diaphanoskopischen Streulichtbildern und deren Fusion mit anderen Modalitäten der Bildgebung [Text] / U.J. Zabarylo // Doctoral dissertation. – 2021. – P.69.
2. Пат. 2657940 Российская Федерация, МПК А61В 5/01 (2006.01) А61В 1/04 (2006.01). Способ диагностики заболеваний верхнечелюстных пазух пациента и устройство для его осуществления / В.Г. Артюшенко, В.Г. Агеев, Г.Л. Даниелян, О. Минэ, У. Забарилло; заявитель и патентообладатель Арт фотоникс ГмбХ (DE). – № 2017115320; заявл. 02.05.2017; опубл. 18.06.2018, Бюл. № 17. – 8 с.: ил.].
3. Программы скрининга: краткое руководство. Повышение эффективности, максимальное увеличение пользы и минимизация вреда [Текст] // Европейское региональное бюро ВОЗ. – 2020. – 72 С.
4. Дунаев, А.В. Мультимодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека: монография [Текст] / А.В. Дунаев. – Старый Оскол: ТНТ. – 2022. – 440 с.: ил.
5. Bryanskaya, E.O. Optical Diagnostics of the Maxillary Sinuses by Digital Diaphanoscopy Technology [Text] / E.O. Bryanskaya, I.N. Novikova, V.V. Dremin, R.Yu. Gneushev, O.A. Bibikova, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // Diagnostics. – 2021. – Vol. 11. – №. 1. – P. 77.
6. Bryanskaya, E.O. Digital diaphanoscopy data processing for differentiation of maxillary sinus pathologies [Text] / E.O. Bryanskaya, V.V. Dremin, I.N. Novikova, Yu.O. Nikolaeva, V.G. Pil'nikov, A.V. Bakotina, A.Yu. Ovchinnikov, D.N. Panchenkov, A.V. Baranov, V.G. Artyushenko, A.V. Dunaev // 2022 International Conference Laser Optics, ICLO 2022 – Proceedings. – IEEE. – 2022. – P. 1-1.

**ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА СПЕКТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ТКАНЕЙ
ПЕЧЕНИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЖЕЛТУХЕ**

К.Ю. Кандурова¹, Д.С. Сумин^{1,2}, А.В. Мамошин^{1,2}, Е.В. Потапова¹

¹ Научно-технологический центр биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, Орел, Россия

² Орловская областная клиническая больница, Орел, Россия

Представлены результаты исследования функционального состояния печени методом флуоресцентной спектроскопии. Проводится сравнение результатов измерений у пациентов с механической желтухой и без данного синдрома. При деконволюции спектров флуоресценции обнаружена разница во вкладе флуорофоров NADH и билирубина, характеризующих функциональные изменения тканей печени. Предложенный подход может быть использован для разработки диагностического критерия оценки печеночной дисфункции.

Ключевые слова: оптическая биопсия, флуоресцентная спектроскопия, механическая желтуха.

**STUDY OF FLUORESCENCE SPECTRA TO ASSESS THE FUNCTIONAL
STATE OF LIVER TISSUE IN OBSTRUCTIVE JAUNDICE**

K.Y. Kandurova¹, D.S. Sumin^{1,2}, A.V. Mamoshin^{1,2}, E.V. Potapova¹

¹ Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

² Orel Regional Clinical Hospital, Orel, Russia

The work presents the results of the study of liver functional state by fluorescence spectroscopy. We compare the results of measurements in patients with obstructive jaundice and without this syndrome. By deconvoluting the fluorescence spectra we found out a difference in contribution of NADH and bilirubin fluorophores characterizing functional changes of liver tissue. The proposed approach can be used to develop a diagnostic criterion for evaluation of hepatic dysfunction.

Key words: optical biopsy, fluorescence spectroscopy, obstructive jaundice.

Синдром механической желтухи развивается при нарушении оттока желчи по желчевыводящим путям в двенадцатиперстную кишку вследствие желчнокаменной болезни, воспалительных процессов, а также доброкачественных и злокачественных новообразованиями. Механическая желтуха сопровождается функциональными и морфологическими нарушениями, которые могут привести к развитию печеночной недостаточности [1]. Для выбора способа дальнейшей терапии и прогнозирования течения заболевания важно иметь представление об морфофункциональных изменениях в паренхиме печени вследствие развития

печеночной недостаточности. Для оценки тяжести печеночной дисфункции традиционно используются клинические и биохимические показатели, а также прогностические шкалы и системы, однако они дают приблизительное косвенное представление, что определяет актуальность поиска дополнительных объективных критериев и разработки технологий для оценки функционального состояния печени в режиме реального времени. Перспективным направлением является приложение метода флуоресцентной спектроскопии (ФС). Этот метод дает информацию о содержании основных флуорофоров, что позволяет оценить метаболизм печени *in vivo* [2, 3], в том числе во время выполнения антеградной декомпрессии желчных протоков.

Таким образом, целью работы явилось *in vivo* исследование оптических свойств паренхимы печени при механической желтухе методом флуоресцентной спектроскопии.

Исследования проводились на базе хирургического отделения Орловской областной клинической больницы и были одобрены этическим комитетом Орловского государственного университета (протокол №14 от 24.01.2019). В исследовании приняли участие 8 пациентов с синдромом механической желтухи. Оптические измерения проводились во время проведения антеградной декомпрессии желчевыводящих путей под ультразвуковым и рентгенотелевизионным контролем. В качестве группы сравнения были использованы спектры флуоресценции 8 пациентов без механической желтухи, полученные с неизменной паренхимы печени во время проведения пункционной биопсии очаговых образований [3].

Измерения проводились с помощью канала ФС специально разработанной установки оптической биопсии. Канал включал в себя светодиод 365 нм и лазерный диод 450 нм, ПЗС-спектрометр FLAME T-VIS-NIR-ES (Ocean Optics, США) с диапазоном 350-1000 нм и отсекающие обратно рассеянное излучение фильтры 400 нм и 495 нм (Thorlabs Inc., США). Для доставки оптического излучения использовался специально разработанный оптический зонд малого диаметра. Спектры флуоресценции анализировались в программной среде OriginPro с помощью нормирования до 100, сглаживания фильтром Савицкого-Голая и деконволюции путем итерационного нелинейного подбора на основе алгоритма Левенберга-Марквардта комбинаций гауссовых кривых, отражающих вклад основных флуорофоров ткани печени в общий спектр флуоресценции [4].

Анализируемыми параметрами являлись высоты гауссовых кривых, площади под гауссовыми кривыми и их относительный вклад в общую площадь под кривой спектра. Анализируемыми флуорофорами являлись NADH (445 нм), флавины (530-550 нм) и билирубин (517-521 и 565-575 нм). Было выявлено статистически значимое преобладание NADH в спектрах, возбужденных излучением на длине волны 365 нм. Анализ кривых, полученных для спектров на длине волны 450 нм, показал увеличение процента площади кривых билирубина в группе пациентов с синдромом механической желтухи (таблица 1).

Таблица 1. Сравнение параметров основных флуорофоров тканей печени

Флуорофор	Высота гауссовой кривой, отн.ед.		% площади под кривой в общей площади под кривой спектра, отн.ед.	
	Без желтухи	При желтухе	Без желтухи	При желтухе
NADH	7,7±2,8	26,3±5,1 *	2,4±0,8	9,3±1,8 *
Флавины	38,2±4,6	42,9±4,9	12,3±2,6	15,0±2,8
Билирубин	74,6±8,2	80,4±1,4	22,4±2,2	28,0±2,8 *
	28,7±6,2	36,4±0,8	14,7±3,2	20,5±2,0 *

* Статистически значимые различия (ANOVA, $p < 0,05$)

Полученные результаты отражают наличие метаболических изменений, связанных со сдвигами в содержании основных флуорофоров тканей печени. Преобладание флуоресценции кофермента NADH может указывать на нарушения в процессе утилизации кислорода. Гипоксия, возникающая вследствие тяжелой дисфункции гепатоцитов, в свою очередь и приводит к развитию печеночной недостаточности. Также у больных с синдромом механической желтухи наблюдалось значительное накопление билирубина из-за наличия препятствия для оттока желчи из печеночных ацинусов и её накопления в тканях печени.

Таким образом, результаты свидетельствуют о возможности применения метода ФС для получения данных о функциональном состоянии паренхимы печени. Вклады флуоресценции NADH и билирубина могут быть изучены в дальнейшем как диагностические критерии оценки течения печеночной недостаточности.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-15-00325).

Библиографический список

1. See T.C. Acute biliary interventions / T.C. See // *Clinical Radiology*, 2020, 75(5), p. 398.e9-398.e18.
2. Kandurova K. Fiber-optic system for intraoperative study of abdominal organs during minimally invasive surgical interventions / K. Kandurova, V. Dremin, E. Zherebtsov, E. Potapova, A. Alyanov, A. Mamoshin, Y. Ivanov, A. Borsukov, A. Dunaev // *Applied Sciences*, 2019, 9(2), 217.
3. Dremin V. Optical percutaneous needle biopsy of the liver: a pilot animal and clinical study / V. Dremin, E. Potapova, E. Zherebtsov, K. Kandurova, V. Shupletsov, A. Alekseyev, A. Mamoshin, A. Dunaev // *Scientific Reports*, 2020, 10(1), 14200.
4. Croce A.C. Autofluorescence of liver tissue and bile: organ functionality monitoring during ischemia and reoxygenation / A.C. Croce, A. Ferrigno, G. Santin, V.M. Piccolini, G. Bottirolini, M. Vairetti // *Lasers in Surgery and Medicine*, 2014, 45(5), p. 412-421.

СИСТЕМА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОЙ РЕГИСТРАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРЕМОРА

М.В. Беликова, С.Г. Гуржин

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Дана общая оценка инструментальным методам регистрации тремора у человека. Отмечены достоинства и перспективы развития методов видео регистрации тремора. Предложена структура системы для бесконтактной регистрации тремора на базе персонального компьютера, веб-камеры и программных средств в виде виртуальных приборов среды LabVIEW.

Ключевые слова: тремор, видео регистрация, веб-камера, виртуальный прибор.

SYSTEM FOR CONTACTLESS REGISTRATION AND DETERMINATION OF TREMOR PARAMETERS

M.V. Belikova, S.G. Gurzhin

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

A general assessment of instrumental methods for recording tremor in humans is given. The advantages and prospects for the development of tremor video recording methods are noted. The structure of the system for non-contact registration of tremor based on a personal computer, a webcam and software tools in the form of virtual instruments of the LabVIEW environment is proposed.

Key words: tremor, video recording, webcam, virtual instrument.

Широкое использование инструментальных методов регистрации произвольных, колебательных движений частей тела человека и количественной оценки параметров этих колебаний в клинической практике указывает на актуальность разработки более совершенных диагностических средств для выявления различных видов патологического тремора [1,2].

Анализ известных методов регистрации тремора показал, что среди них наиболее перспективными являются бесконтактные методы видео регистрации на базе компьютера, которые выгодно отличаются своими качествами: эргономичностью, точностью, высокой автоматизацией управления, регистрации, обработки изображений и оперативной визуализацией результатов исследований [3-6].

Одним из важных достоинств таких систем можно считать также их аппаратную реализацию, включающую всего два функционально законченных, сертифицированных, стандартных и универсальных устройства – персональный компьютер (ПК) и веб-камеру. Специализированными остаются только программные средства и методики регистрации, обработки, преобразования, измерения и представления информации.

Поскольку, как следует из литературы, известных решений на сегодняшний день незначительное количество и методики регистрации тремора существенно разнятся по ряду требований: позиционированию и фиксации объекта, его освещению, фону, цвету маркеров и другие. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых методик, которые позволили бы повысить точность, быть менее чувствительными к влияющим факторам и внешним условиям и иметь возможность гибкого изменения и наращивания программных средств.

Предлагается структура измерительно-диагностической системы (рис. 1).

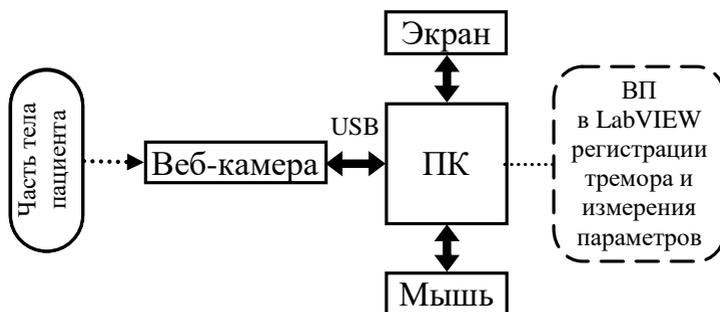


Рис. 1 – Структура системы регистрации и измерения параметров тремора

Чувствительным элементом системы служит веб-камера типа Logitech HD Pro Webcam C920, которая имеет максимальное разрешение 1920×1080 пикселей и частоту сканирования 30 кадров в секунду. Главным ее достоинством является наличие режима автофокусировки, что позволяет обеспечить чёткость и высокое качество изображений как на ближних, так и на дальних расстояниях, а также возможность переключения на ручную фокусировку. Отмеченные характеристики, безусловно, будут способствовать повышению точности регистрации и измерения параметров тремора.

В системе предусмотрено использовать компьютерные технологии National Instruments (NI), основанные на графической среде разработки приложений NI LabVIEW, которая имеет большую библиотеку известных математических методов обработки данных и предоставляет широкие возможности для построения контрольно-измерительных систем технического зрения. Среда помогают на основе высококачественных драйверов и оборудования создавать специализированные программные решения [7].

Дополнительный модуль NI IMAQ Vision позволяет загружать изображения с аналоговых и цифровых источников, имеет множество функций анализа и обработки изображений:

- фильтрации и морфологических преобразований;
- анализа геометрической структуры изображения;

- анализа структуры изображения;
- анализа в бинарных изображениях;
- детектирования границ и измерения линейных размеров;
- анализа качества изображения;
- калибровки изображения;
- преобразования изображений.

Применение этих функций существенно упростит разработку виртуальных приборов в среде LabVIEW и позволит качественно и с высокой точностью проводить различные виды анализа зарегистрированного физиологического процесса: временной, частотный, корреляционный, статистический, вейвлет и др. Результаты комплексного анализа можно представлять одновременно в многооконном режиме с оперативным определением диагностических показателей.

Основной алгоритм работы системы включает в себя:

1. Непрерывную видео регистрацию исходного цветного изображения объекта вместе с фоном;
2. Локализация и выделение интересующего участка тела обследуемого;
3. Бинаризация изображения объекта исследования;
4. Определение центра тяжести выделенной фигуры объекта в каждом кадре потока изображений;
5. Исключение яркостных помех на границе черный объект – белый фон;
6. Формирование из множества центров тяжести объекта временной последовательности цифровых отсчетов, в виде осциллограммы;
7. Визуализацию временной функции колебаний объекта и детальное измерение амплитудных, временных и частотных информативных параметров;
8. Определение значимых медицинских показателей.

Библиографический список

1. Иванова-Смоленская И.А., Карабанов А.В., Червяков А.В., Иллариошкин С.Н. Современные инструментальные методы регистрации тремора // Новые технологии, № 2. 2011. С. 17-23.
2. Говорова Т.Г., Попова Т.Е., Таппахов А.А. Тремография в клинической практике // Нервно-мышечные болезни, Том 9. №4. 2019. С. 61-72.
3. Лихачёв С.А., Ващилин В.В., Дик С.К. Тремор: феноменология и способы регистрации // Медицинский журнал: научно-практический рецензируемый журнал, № 2. 2010. С. 133-137.
4. Фролов С.В., Горбунов А.В., Потлов А.Ю. Регистрация и анализ тремора с помощью детектора движения на основе веб-камеры // Биомедицина, № 2. 2012. С. 80-83.
5. Дик С.К., Терех А.С., Смирнов А.В., Конопелько В.К. Разработка системы видеорегистрации тремора конечностей человека // Проблемы физики, математики и техники, № 3 (16). 2013. С. 93-96.
6. Бурькин Ю.Г. Применение системы видеотрекинга для регистрации

движений верхней конечности человека // Успехи кибернетики. Russian Journal of Cybernetics, Том 1. №3. 2020. С. 23-32.

7. Махов В.Е., Ширококов В.В., Закутаев А.А. Построение систем технического зрения на базе компьютерных технологий National Instruments // Control Engineering Россия, №4. (76). 2018. С. 62-69.

УДК 621.317.616

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОВЕРКИ СОХРАННОСТИ СЛУХОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

К.Н. Болсунов, А.Е. Гапаненок

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
имени В.И. Ленина, г. Санкт-Петербург

С возрастом чувствительность слуха у человека уменьшается и прежде всего в области верхних частот звукового диапазона. Как правило, человек теряет слух постепенно. Это обусловлено использованием наушников на высокой громкости, шум и другими аспектами влияющими на слух. На сегодняшний день проблемы со слухом существуют даже у молодого поколения. Разрабатываемая система выявляет нарушения слуха не по субъективным ответам пациента во время стандартного тестирования, а по реакции головного мозга на акустические сигналы.

Ключевые слова: автоматизированная система, сурдолог, метод Люшера, Vala.

AUTOMATED SYSTEM FOR CHECKING THE SAFETY OF AUDITORY SENSITIVITY

K.N. Bolsunov, A.E. Gapanenk

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg

With age, the sensitivity of hearing in humans decreases, especially in the upper frequencies of the sound range. As a rule, a person loses his hearing gradually. This is due to the use of headphones at high volume, noise and other aspects affecting hearing. Today, even the younger generation has hearing problems. The developed system detects hearing disorders not by the subjective responses of the patient during standard testing, but by the reaction of the brain to acoustic signals.

Keywords: automated system, surdologist, Lusher's method, Vala.

Человек с нормальным слухом воспринимает достаточно широкий диапазон звуковых колебаний [1]. Но в следствии различных причин таких, как травмы, инфекционные поражения, врождённые патологии, острота слухового восприятия человека может резко снижаться или исчезать полностью.

В аудиометрии существует понятие критерия слуховой нормы – его считается уровень слухового восприятия, когда графики слуховых ощущений пациента – аудиограммы лежат в диапазоне от 0 до 25дБ [2].

Существует множество особенностей слухового восприятия человека, которые снижают критерий слуховой нормы и все они характеризуются качеством звукопередачи. Правильно определить качество звукопередачи можно только совместно изучив субъективные ощущения человека и объективные характеристики звука такие, как интенсивность и частота тона.

На сегодняшний день проверка слуха представляет собой не сложную, безболезненную процедуру, пройти которую можно в медицинских учреждениях у врача – сурдолога.

В аудиологии чаще всего используют пороговую (тональную) аудиометрию, но не менее важное значение имеет надпороговая аудиометрия, которая дает возможность проводить исследование слухового восприятия надпороговыми звуками.

Благодаря тому, что в надпороговой аудиометрии используют звуки, значительно превышающие по интенсивности пороговые можно получить представления о слуховом восприятии обычных в жизни звуков, в частности звуков разговорной речи. Кроме того, анализ надпороговых звуков позволяет провести дифференциальную диагностику между поражениями различных отделов звуковоспринимающего аппарата.

В основе надпороговой аудиометрии лежит явление повышения восприятия громкости при некоторых формах тугоухости.

Надпороговая аудиометрия включает ряд тестов, которые используются для упрощения проведения аудиометрии и определения слухового восприятия человека.

Для нашей автоматизированной системе был выбран тест Люшера, так как он наиболее эффективен при двухстороннем поражении слухового аппарата (двухсторонняя тугоухость).

Для разработки программного обеспечения системы поддержки принятия врачебных решений врача сурдолога был выбран язык программирования Vala и визуальная библиотека GTK+.

Автоматизированная система работает следующим образом:

1. Врач (либо сам пациент) запускает программу;
2. Если это необходимо врач (либо сам пациент) заходит в модуль настройки и выполняет необходимые настройки системы;
3. Врач (либо сам пациент) заходит в модуль калибровки системы и калибрует ее;
4. Врач (либо сам пациент) заходит в модуль тестирования и вводит данные пациента (ФИО, пол, возраст, наличие травм головы, номер страхового полиса), а также свое ФИО;
5. Данные о пациенте вносятся в базу данных системы;
6. Пациент проходит тестирование;
7. После завершения тестирования система информирует об этом

пациента и предлагает посмотреть результаты;

8. Выводится заключение;

9. Заключение заносится в базу данных.

Для обеспечения точности проводимого тестирования и достоверности результатов, в разрабатываемой программе предусмотрен блок проверки и калибровки компьютерного аудиометра.

Разработанная система состоит из четырех основных модулей: тестирование, калибровка, результаты, настройка.

Одним из главных требований, предъявляемых к разрабатываемой автоматизированной системе, является требование к удобству использования системы как врачом сурдологом-отоларингологом, так и пациентом.

Поскольку разрабатываемая система предназначена не только для использования врачами в медицинских учреждениях, но и для домашнего использования, то мы уделили внимание тому как будут отображаться результаты, то есть тому, чтобы результаты отображались в форме понятной как врачу, так и пациенту.

В нашей системе результаты отображаются в виде аудиограмм левого и правого уха, на каждой из них есть зоны от нормального слуха до глухоты.

Разработанная нами автоматизированная система обладает всеми необходимыми функциональными возможностями: простой и понятный интерфейс; размер иконок, шрифта и других элементов теста должен быть довольно большим, чтобы даже люди с проблемами зрения могли их различать; система должна обладать возможностью выбора языка, на котором можно пройти тест, то есть иметь языковой интерфейс; в тесте должно быть окно с правилами прохождения теста, которые открывается перед прохождением теста; тест должен иметь окно настройки, калибровки, результатов, начала теста и выхода; в тесте должно быть оно с предупреждением о преждевременном завершении теста.

Библиографический список

1. Food Health. URL: <https://foodandhealth.ru/diagnostika/audiometriya/>
2. Sopli.net. URL: [https://sopli-net.turbopages.org/s/sopli.net/audiome tria/](https://sopli-net.turbopages.org/s/sopli.net/audiome%20tria/)

УДК 621.317.616

МЕТОД НЕИНВАЗИВНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ВАГУСНОГО НЕРВА

Е.В. Садыкова, А.Е. Гапаненко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В.И. Ленина, г. Санкт-Петербург

В данной работе рассмотрен метод электростимуляции аурикулярной ветви вагусного нерва. Для того, чтобы корректно выбрать параметры и средства стимуляции построена in silico модель зоны ушной раковины человека, где иннервация аурикулярной ветви вагусного нерва максимальна.

Выбраны тип электрода, его расположение, амплитуда и форма стимулирующего импульса, а также исследовано влияние электрода на распространение электромагнитного поля в тканях ушной раковины и порог стимуляции нервного волокна.

Ключевые слова: *аурикулярная ветвь вагусного нерва, электростимуляция, компьютерное моделирование, аксон.*

METHOD OF NON-INVASIVE VAGAL NERVE STIMULATION E.V.

Sadykova, A.E. Gapanenk

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg

In this paper, the method of electrostimulation of the auricular branch of the vagal nerve is considered. In order to correctly select the parameters and means of stimulation, an in silico model of the human auricle zone was constructed, where the innervation of the auricular branch of the vagal nerve is maximal. The type of electrode, its location, amplitude and shape of the stimulating pulse were selected, and the effect of the electrode on the propagation of the electromagnetic field in the tissues of the auricle and the threshold of stimulation of the nerve fiber were studied.

Keywords: *auricular brach of the vagus nerve, electrostimulation, in-silico model, axon.*

Эпилепсия – одно из самых распространённых заболеваний нервной системы, представляющее серьёзную медицинскую и социальную проблему.

По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) эпилепсией страдают приблизительно 65 миллионов человек по всему миру. В связи с основным своим симптомом – судорожными припадками – заболевание влечет за собой значительное бремя инвалидности, смертности, сопутствующих заболеваний, стигматизации, а также расходов на лечение. Несмотря на то, что количество доступных противоэпилептических препаратов за последние 20 лет значительно увеличилось, около трети пациентов остаются устойчивыми к лечению, а хирургическое вмешательство осуществляется редко, поэтому необходим альтернативный вид лечения пациентов, которым может стать неинвазивная и малоинвазивная электростимуляция аурикулярной ветви вагусного нерва (АВВН) [1, 2]. Неинвазивная стимуляция применяется редко из-за сложности оценки получаемого эффекта от ее использования. В настоящее время существуют «носимые» устройства для больных эпилепсией, похожие на устройства TENS (transcutaneous electrical nerve stimulation), которые включают чрескожную стимуляцию и не требуют хирургического вмешательства. В таких устройствах электрические импульсы подаются через игольчатые электроды на левую ушную раковину, в точки, где ветви блуждающего нерва имеют кожное представительство, в частности на

внутреннюю часть левого козелка, но также мишенями могут быть слуховой проход и ушная раковина. На сегодняшний день отсутствуют результаты оценки эффективности таких устройств. Проблемы оценки воздействия неинвазивной стимуляции на АВВН человека можно решить при помощи метода компьютерного моделирования. Ранее эксперименты *in silico* не позволяли добиться подобных результатов из-за несовершенства компьютерных моделей.

В данной работе для построения *in silico* модели электростимуляции АВВН мы использовали платформу Sim4Life. Распределение электромагнитного поля, создаваемое платформой Sim4Life, строилось в области низких частот. Стимуляция нервного волокна проводилась с помощью модели пространственно распределенного возмущения напряжения нелинейного узла. Модель миелинизированного нервного аксона использовали для изучения инициации и распространения потенциалов действия при различных внеклеточных электрических стимулах. Нелинейности Франкенхайзера—Хаксли были включены в каждый из нескольких узлов в продольном массиве, а импульс внеклеточного тока был смоделирован как пространственное распределение возмущения напряжения вдоль мембраны.

Для того, чтобы определить порог возбуждения мы использовали принцип титрования. Титрование — это итеративный процесс стимуляции нейрона серией импульсов напряженности поля для определения порога, выше которого генерируется всплеск, с введением дополнительного коэффициента масштабирования, который изменяется до тех пор, пока не будет обнаружен ответ. Пик обнаруживается, когда кратковременная деполяризация мембранного потенциала превышает предварительно определенное пороговое значение. Полученный коэффициент титрования используется для дальнейшего масштабирования электрического потенциала, воспринимаемого нейроном.

Для стимуляции построена область ушной раковины *cymba conchae*, ввиду того что в эту область АВВН максимально иннервирует. Нервное волокно построено на данных, взятых из литературы [3]. Диаметр аксона принят равным 9 мкм — как среднее значение диаметров аксонов по исследованию гистологического образца АВВН [4]. Аксон проходит сразу под эпидермальным слоем, толщина которого 74,9 мкм, эта толщина эпидермального слоя в самых тонких частях тела (веки, уши) в соответствии с данными работы [5]. Проведены тесты двух видов электродов накладных и игольчатых, различные формы импульсов со временем следования 1 мс: монополярный катодный, монополярный анодный, биполярный.

С использованием игольчатых электродов электрическое поле значительно лучше распространяется по волокну. Порог стимуляции для биполярного импульса равен 0,12 В, что практически эффективнее, чем с использованием накладных электродов. Изменение температуры оказывает незначительное влияние на порог стимуляции. Наибольшее изменение (< 1%) наблюдается

только в крайних точках. Проводимость кожи не оказывает практически никакого влияния на порог стимуляции.

В ходе работы показана возможность построения индивидуальной цифровой модели зоны ушной раковины для проведения анализа неинвазивной и малоинвазивной электростимуляции вагусного нерва. Построено распределение электромагнитного поля в тканях ушной раковины, которое показало, что точное расположение электрода и выбор шаблона стимуляции являются основополагающими факторами оценки эффективности стимуляции в отличии от проводимости кожи и температуры. Построенная модель раскрывает некоторые аспекты электростимуляции, однако требует дополнения большим количеством нервных волокон, сосудов и использования группы аксонов с трансмембранными механизмами активации аксонов, что планируется в будущих исследованиях.

Библиографический список

1. Yuldashev Z. M., Sadykova E. V. A Remote System for the Diagnosis and Emergency Care of Epileptic Seizures Biomedical Engineering. 2019, vol. 52(5), pp. 353-356. DOI: 10.1007/s10527-019-09846-8
2. Садыкова Е. В., Танасьева М. А. Модели информационного обеспечения биотехнической системы диагностики и лечения больных эпилепсией // Биотехносфера. 2021. № 1. С. 69–75. DOI 10.25960/bts.2021.1.69 Sadykova E. V., Tanas'eva M. A. Modeli informacionnogo obespecheniya biotekhnicheskoy sistemy diagnostiki i lecheniya bol'nyh epilepsiej. Biotekhnosfera, 2021, no 1, pp. 69-75. (In Russ.) DOI 10.25960/bts.2021.1.69
3. Peuker E. T., Filler T. J. The nerve supply of the human auricle. Clinical Anatomy. 2002, no 15 (1), pp. 35-37.
4. Safi S., Ellrich J., Neuhuber W. Myelinated Axons in the Auricular Branch of the Human Vagus Nerve. Anatomical Record, 2016, t. 299, no 9, pp. 1184-1191.
5. Sandby-Møller J., Poulsen T., Wulf H. C. Epidermal Thickness at Different Body Sites: Relationship to Age, Gender, Pigmentation, Blood Content, Skin Type and Smoking Habits. Acta Dermato-Venereologica, 2003, no 6 (83), pp. 410-413.

УДК 615.847.8; 616-71, 621.3.088

ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛОВ РЕГИСТРАЦИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПАЦИЕНТА ВО ВРЕМЯ СЕАНСА МАГНИТОТЕРАПИИ

А.В. Шуляков

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрены источники погрешностей в каналах регистрации пульсовой волны и процесса дыхания в системе комплексной магнитотерапии.

Ключевые слова: магнитотерапия, диагностические каналы, пульсовая волна, процесс дыхания, артериальное давление, сатурация, источники погрешностей, метрологические испытания.

ASSESSMENT OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE CHANNELS FOR RECORDING THE PHYSIOLOGICAL PROCESSES OF THE PATIENT DURING A SESSION OF MAGNETIC THERAPY

A.V. Shulyakov

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The sources of errors in the channels of pulse wave registration and respiration process in the system of complex magnetotherapy are considered.

Key words: *magnetotherapy, diagnostic channels, pulse wave, breathing process, blood pressure, saturation, sources of errors, metrological tests.*

В системе комплексной магнитотерапии «Мультимаг» во время лечебного сеанса производится определение диагностических характеристик и показателей кардиореспираторной системы организма пациента, как наиболее заметно реагирующей на изменение его текущего состояния. В качестве источников получения диагностической информации используются пульсовая и дыхательная волны, процессы изменения артериального давления и насыщения кислородом гемоглобина в крови (SpO₂).

Определение данных показателей осуществляется путем регистрации сигналов физиологических процессов пациента методами, нечувствительными к магнитному полю, воздействующему на пациента во время лечебной процедуры.

Регистрация пульсовых волн осуществляется фотоплетизмографическим методом, с последующим выделением в сигнале характеристических точек и определением по ним показателей пульса, давления и SpO₂.

Дыхательные волны пациента регистрируются как перемещение грудной клетки (ГК) пациента в процессе дыхания с помощью локационного метода. Рассматривается использование оптического или ультразвукового локационных методов.

В итоге система каналов регистрации для определения выбранных диагностических показателей пациента показана на рис. 1. Она включает:

- канал регистрации сигнала перемещения ГК с помощью локационного датчика дыхания расположенного перед ГК пациента;
- канал регистрации сигнала фотоплетизмограммы с помощью оптического датчика, работающего в инфракрасном (ИК) диапазоне спектра излучения и расположенного на проксимальном участке тела пациента;
- канал регистрации сигнала фотоплетизмограммы с помощью оптического датчика, работающего в ИК диапазоне спектра излучения и расположенного на дистальном участке тела пациента;
- канал регистрации сигнала фотоплетизмограммы с помощью оптического датчика, работающего в красном диапазоне спектра излучения и расположенного на дистальном участке тела пациента.

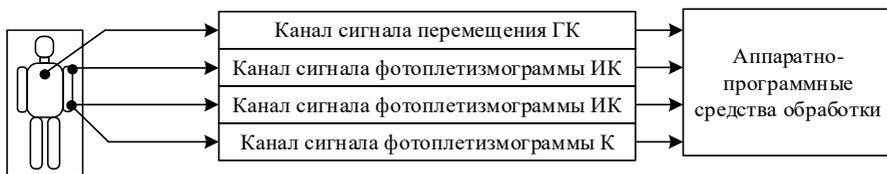


Рис. 1 – Каналы регистрации физиологических процессов пациента в системе «Мультимаг»

Оценка метрологических характеристик каналов регистрации выбранных физиологических процессов, таким образом, сводится к оценке метрологических характеристик каналов регистрации и обработки сигнала фотоплетизмограммы и канала регистрации и обработки сигнала локационного датчика перемещения грудной клетки.

В качестве основных источников возникновения погрешности в данных каналах можно выделить инструментальные и методические погрешности.

Проведя предварительный качественный анализ источников и составляющих инструментальных погрешностей каналов фотометрических преобразователей можно выделить следующие:

- погрешности, связанные с динамическими характеристиками используемых светоизлучателей и фотоприемников датчиков, влиянием конструкции датчика и особенностями участка тела пациента приложения датчика;
- погрешности модуля сбора данных и аналого-цифрового преобразования сигналов;
- погрешности регистрации формы сигналов ФПГ (количество цифровых отсчетов, приходящихся на один период сигнала);

Поскольку на сегодняшний день в отечественной медицинской диагностике применяется большое разнообразие фотометрических преобразователей, выпускаемых различными компаниями и чаще всего зарубежными производителями, метрологические характеристики которых, как правило, неполно представляются в документации и тем самым нуждаются в подтверждении заявленных значений параметров, то возникает необходимость в проведении их поверочных испытаний и метрологической аттестации.

Для этого экспериментально проведена оценка инструментальной погрешности каналов фотометрических датчиков с помощью разработанных специальных аппаратно-программных средств, которые описаны в работах [1, 3]. Измерительные системы использовали стандартные средства сбора данных фирмы National Instruments, персональный компьютер и программное обеспечение в среде LabVIEW. Результаты исследований показали наличие у фотометрических датчиков случайной, систематической, аддитивной и мультипликативной погрешностей, которые необходимо учитывать при

обработке сигналов с этих датчиков.

Инструментальная погрешность локационных методов регистрации перемещения ГК пациента связана, в первую очередь, с ограниченной точностью функции преобразования используемых датчиков. Проведенные экспериментальные исследования метрологических характеристик локационных датчиков, ультразвукового типа HC-SR04 и оптического типа GP2Y0A21YK0F, описанные в работах [4, 5], показали наличие у датчиков как случайной, так и систематической погрешностей, в том числе и грубой систематической погрешности. Для уменьшения данных погрешностей предложены специальные методы обработки зарегистрированного сигнала [5].

Методические погрешности возникают при обработке зарегистрированных сигналов физиологических процессов при определении диагностических показателей пациента. Эти погрешности зависят от используемой методики обработки регистрируемых сигналов [2, 3]. В данном случае, вычисление выбранных диагностических показателей связано с определением в зарегистрированных сигналах временных и амплитудных характеристик, что в свою очередь, требует качественного выделения определенных характеристических точек в сигнале. Таким образом, в качестве источников и составляющих методической погрешности используемых измерительных каналов можно выделить следующие:

- погрешность определения временного положения сигналов (погрешность метода обнаружения сигнала);
- погрешность измерения временного интервала между положениями сигналов (погрешность метода измерения временного интервала);
- погрешность представления результатов измерений (погрешность округления результатов).

В работе [2] были экспериментально оценены погрешности различных методов определения характеристических точек сигналов фотоплетизмограммы для последующего вычисления периода пульса и времени распространения пульсовой волны. Результаты исследований показали, что погрешности определения данных характеристик при использовании разных методов значительно отличаются. Наиболее точный метод выделения характеристических точек сигнала – основанный на определении максимумов взаимных корреляционных функций реализаций сигналов.

Таким образом, погрешность определения диагностических показателей пациента в течение сеанса магнитотерапии связана с типом используемых датчиков, особенностью построения каналов регистрации сигналов физиологических процессов пациента, а также с используемым методом обработки зарегистрированных сигналов. Для определения метрологических характеристик измерительных каналов, с учетом особенностей работы конкретных датчиков в используемых диагностических каналах, необходимо проведение экспериментальных исследований с использованием образцовой

меры. Данные исследования можно реализовать на базе стандартных средств сбора и обработки измерительных данных, без необходимости разработки специализированных измерительных устройств.

Библиографический список

1. Гуржин, С.Г., Нгуен В.Л., Шуляков А.В. Автоматизированная система метрологических исследований фотометрических измерительных преобразователей // Биомедицинская радиоэлектроника, Т. 22. № 4. 2019. С. 16-22.
2. Якименко Н.А., Гуржин С.Г., Шуляков А.В. Оценка методической погрешности безманжетного метода измерения артериального давления // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2020: сб. тр. III Междунар. науч.-техн. форума в 10 т. / под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: РГРТУ, Т. 6. 2020. С. 28-32.
3. Gurzhin S.G., Zhulev V.I., Kaplan M.B., Proshin E.M., Shulyakov A.V. The System to Study Pulse Transit Time Measurement Error. 2020. 9-th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 2020, pp. 1-4.
4. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л., Шуляков А.В. Исследование действительной функции преобразования бесконтактных датчиков перемещения // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2021: сб. тр. IV Междунар. науч.-техн. форума в 10 т. / под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: РГРТУ, Т. 6. 2021. С. 209-213.
5. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л., Шуляков А.В. Компьютерная система метрологических испытаний локационных датчиков, используемых для мониторинга состояния пациента в магнитотерапии // Биомедицинская радиоэлектроника, Т. 24. № 4. 2021. С. 5-16.

УДК 621.317.616

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В СТАБИЛОГРАФИИ

М.С. Галушка, В.Ю. Вишневецкий

Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного
федерального университета, г. Таганрог

Рассмотрен способ использования дополненной реальности в стабิโลграфии. Оценены преимущества метода по сравнению с классической стабילוграфией.

Ключевые слова: стабילוграфия, дополненная реальность, реабилитация.

USING AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY IN STABILOGRAPHY

M.S. Galushka, V.Yu. Vishnevetsky

Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrument Engineering, Southern
Federal University, Taganrog

The method of using augmented reality in stabilography is considered. The advantages of the method in comparison with classical stabilography are evaluated.

Key words: *stabilography, augmented reality, rehabilitation.*

Оценка баланса – важная часть реабилитации пациентов, а также тренировок профессиональных спортсменов. Эталонным методом оценки баланса является стабิโลграфия с использованием стабิโลплатформ. Стабิโลметрия или постурография – это метод, позволяющий дать количественную оценку на основе измерения координат центра давления, создаваемого человеком на плоскость опоры в заданное время при определенных условиях. Биологическая обратная связь образуется посредством опорной реакции при выполнении тестов и упражнений. Классическими методами оценки баланса на ней являются тест Берга и TUG-тест (Time Up and Go). Данная методика является надежной, однако требует присутствия врача-реабилитолога или физиотерапевта для реабилитации или спортивного тренера для спортивных тренировок.

Технология дополненной реальности является крайней перспективным направлением для реабилитационной и спортивно медицины. Дополненная реальность (AR) — это иммерсивный опыт, основанный на совмещении виртуальной реальности и реального мира. Как правило, виртуальная реальность создается с помощью визуальных ощущений, однако могут быть задействованы также слуховые, тактильные и даже обонятельные рецепторы организма [1]. У технологии дополненной реальности три основные функции:

1. сочетание реального и виртуального миров
2. взаимодействие в реальном времени
3. точное 3D-регистрация виртуальных и реальных объектов с помощью отслеживания позы.

В зависимости от метода наложения информации выделяют конструктивную и деструктивную дополненную реальность. В конструктивной дополненной реальности реальное окружение дополняется виртуальным содержимым, в деструктивной – маскируется окружающая среда. Этот опыт органично переплетается с физическим миром, так что он воспринимается как иммерсивный аспект реальной среды.

Существует несколько подходов использования дополненной реальности в стабิโลграфии. Первый – замена стабิโลплатформ на AR-системы. Положение тела в пространстве при этом определяется при помощи камеры или группы камер, а через экран производится визуальная обратная связь и корректировка упражнений. Данный подход позволяет проводить реабилитацию или спортивные тренировки без врача или тренера, а также делает программно-аппаратный комплекс существенно дешевле без потери в эффективности [2].

Другим подходом является совмещение технологии дополненной

реальности и стабиллоплатформ, кроме того, иногда она дополняется ЭМГ-датчиками. Данная методика позволяет значительно увеличить количество снимаемых показателей и проводить более эффективные тренировки или реабилитацию. Основным недостатком подобных систем является большая стоимость приборов [3].

Таким образом, технология дополненной реальности является перспективным направлением в стабиллографии. Основными достоинствами применения технологии является упрощение процедуры проведения тренировок и реабилитации, увеличение эффективности упражнений при совместном использовании со стабиллоплатформами и уменьшение стоимости аппаратно-программного комплекса при использовании самостоятельно.

Библиографический список

1. Cipresso, Pietro; Giglioli, Irene Alice Chicchi; Raya, iz; Riva, Giuseppe The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature // *Frontiers in Psychology*. - 2011. - №9.
2. Roy, S., Mazumder, O., Chatterjee, D., Chakravarty, K., & Sinha, A. (2017). Quantification of postural balance using augmented reality based environment: A pilot study // *IEEE SENSORS*. -2017.
3. BTS SPORTLAB // BTS Bioengineering URL: <https://www.btsbioengineering.com/products/bts-sportlab/> (дата обращения: 10.11.2022).

УДК 616-002.46

РАЗРАБОТКА ТОКОВОГО СТИМУЛЯТОРА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ПРОЛЕЖНЕЙ

Д.Ю. Переводчиков, Е.Ю. Дикман

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск

Предложен ранее не использовавшийся метод для профилактики пролежневых язв у малоподвижных пациентов и описана структурная схема устройства для его реализации.

Ключевые слова: прерывистая токовая стимуляция, пролежни, портативное устройство.

DEVELOPMENT OF A CURRENT STIMULATOR FOR THE PREVENTION OF BEDSORES

D. Yu. Perevodchikov, E. Yu. Dikman

The National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

A previously unused method for the prevention of bed sore ulcers in sedentary patients is proposed and a structural diagram of the device for its implementation is described.

Key words: *intermittent current stimulation, pressure sores, portable device.*

На сегодняшний день статистика в России и мире говорит о сохраняющейся актуальности проблемы профилактики и лечения пролежней. Существует множество методик, разработок, устройств для профилактики и лечения пролежней, но несмотря на глубокую степень изученности вопроса и понимания механизма образования пролежневых язв, а также подходов к профилактике, проблема остается актуальной. В данной работе предложен новый подход к профилактике пролежней и описана структурная схема устройства, которые могут решить данную проблему.

В исследованиях группы ученых, проведенных в Канадском университете Альберты продемонстрировано, что применение прерывистой электростимуляции позволяет безопасно и эффективно бороться с развитием пролежней. В данном исследовании было показано, что электростимуляция вызывает существенное снижение давления на ткани. Эффект объясняется реконfigurацией формы мышцы и перераспределении давления латерально, тем самым симулируя естественные суетливые телодвижения. Здоровый человек производит такие движения бессознательно, находясь долгое время в вынужденной позе, а иммобилизированные пациенты совершать их не способны [1-3]. Также результаты исследований показали, что прерывистая электростимуляция сдавленных тканей приводит к стойкому повышению оксигенации вследствие реактивной гиперемии – процесса, при котором происходит увеличение притока крови в капилляры после коротких периодов окклюзии.

Таким образом, становится актуальным разработка портативного устройства для прерывистой электромиостимуляции. Главное преимущество данной разработки в том, что электроды стимулятора будут встроены в одежду с токопроводящими элементами. Это позволит осуществлять профилактику непрерывно без перемещений пациента в течение длительного времени, а также снизить дискомфорт человека от постоянного подключения и отключения электродов.

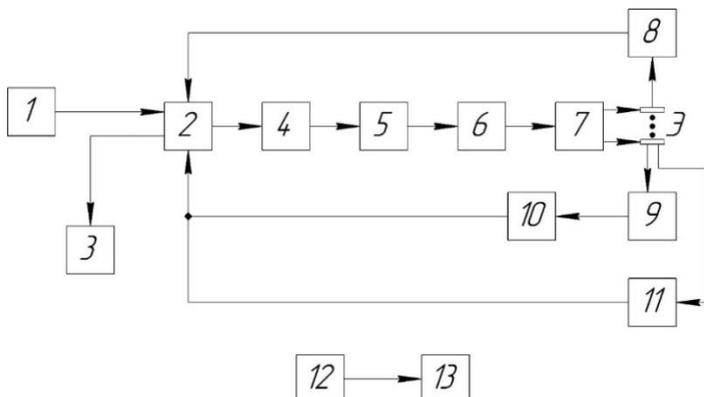


Рис. 1 – Структурная схема устройства

Для решения данной задачи была спроектирована структурная схема электромиостимулятора (рис. 1). В данной схеме микроконтроллер (2) принимает посредством органов управления (1) от пользователя сигналы, управляет блоком формирования стимулов, обеспечивает заданные пользователем временные и амплитудные параметры сигнала, осуществляет индикацию на дисплее (3), принимает сигналы обратной связи и выполняет коммутацию электродов. Проектируя устройство, которое способно осуществлять стимуляцию токами на уровне 50-100мА, необходимо быть уверенным, что никакие процессы не приведут к неконтролируемому увеличению тока, который может произойти вследствие изменения импеданса тканей. Таким образом, выходное сопротивление генератора должно быть во много раз больше сопротивления тканей, т.е. необходимо использовать источник тока. Поэтому в блоке усилителя (5) необходимо обеспечить режим генератора тока. Блок защиты (6) необходим для контроля протекающего тока и выключения устройства в случае аварийного режима. Устройство коммутации сигнала (7) обеспечивает попеременное подключение стимулирующих импульсов к разным каналам электродов. Также в устройстве реализована обратная связь, контролирующая качество электродного контакта (8) для исключения обрыва электрода либо недостаточного контакта.

Блоки (9)-(11) обеспечивают биологическую обратную связь для подстройки параметров стимуляции во время использования устройства. Поскольку прибор предполагается использовать длительное время в течение дня (до 12 часов), очевидно, что за это время электрические параметры тканей могут меняться вследствие изменения давления, кровенаполнения тканей, потоотделения и увлажнения кожно-электродного контакта. Если вовремя не подстроить параметры стимуляции, то возможно снижение эффективности профилактики или появление неприятных ощущений у человека, в том числе ощутимый разогрев кожи под электродами, что также

скажется на общем состоянии человека. Частота и длительность заполняющих импульсов стимуляции зависит от комплексного сопротивления тканей, именно поэтому необходимо введение биологической обратной связи в устройстве для отслеживания этих параметров, а именно времени релаксации тока в тканях и фаза-частотной характеристики [4]. Первое накладывает ограничение на длительность заполняющих импульсов: для эффективной электромиостимуляции необходимо чтобы длительность импульса была не менее $1.5t$, где t – время релаксации тока в тканях. Второй параметр ограничивает частоту воздействия [5]. Поскольку ткани человека представляют собой активно-емкостную нагрузку, то с ростом частоты увеличивается емкостная проводимость, за счет чего уменьшается паразитное падение напряжения на роговом слое кожи (чисто активная нагрузка) и увеличивается доля энергии, подводимая к самой мышце. Увеличение емкостной проводимости возможно отследить, определив фазовую характеристику. Таким образом зная частоту, на которой наблюдается максимальный сдвиг по фазе между стимулирующим током и напряжением на электродах, возможно определить оптимальную частоту для стимуляции.

Питание всех блоков в схеме осуществляется от встроенного аккумулятора (12) с возможностью подзарядки, что существенно упрощает устройство и делает его безопасным и мобильным, так как нет необходимости в подключении к сетевому напряжению. При этом важно обеспечить необходимую мощность в нагрузке, поскольку импеданс тканей на частоте работы устройства может достигать 1-3 кОм. Для этого в схеме предусмотрен повышающий преобразователь питания (13), который обеспечит усилителю необходимую выходную мощность.

Описанная структурная схема позволит спроектировать портативный миостимулятор с биологической обратной связью, который можно будет использовать вместе с электродами, встроенными в одежду и осуществлять профилактику пролежней в течение долгого времени непрерывно. В данный момент уже проведено макетирование отдельных блоков схемы.

Работа выполнена в рамках гранта по программе «УМНИК» № 17225ГУ/2021 «Разработка устройства, интегрированного в одежду пациента, для электромиостимуляции с целью предотвращения развития пролежневых язв у малоподвижных пациентов».

Библиографический список

1. Prevention of pressure-induced deep tissue injury using intermittent electrical stimulation/ Leandro R. Solis, Daniel P. Hallihan, Richard R. E. Uwiera, Richard B. Thompson, Enid D. Pehowich, and Vivian K. Mushahwar. Journal of Applied Physiology 2007 102:5, 1992-2001
2. Intermittent electrical stimulation redistributes pressure and promotes tissue oxygenation in loaded muscles of individuals with spinal cord injury. Selina Gyawali, Leandro Solis, Su Ling Chong, Cara Curtis, Peter Seres, Isaak Kornelsen,

Richard Thompson, and Vivian K. Mushahwar. Journal of Applied Physiology 2011 110:1, 246-255

3. Solis LR, Liggins A, Uwiera RR, Poppe N, Pehowich E, Seres P, Thompson RB, Mushahwar VK. Distribution of internal pressure around bony prominences: implications to deep tissue injury and effectiveness of intermittent electrical stimulation. Ann Biomed Eng. 2012 Aug;40(8):1740-59. doi: 10.1007/s10439-012-0529-0. Epub 2012 Feb 22. PMID: 22354272.

4. Глушук, Сергей Федорович. Конструирование автономных электростимуляторов органов и тканей человека / С. Ф. Глушук, Я. С. Пеккер; Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск : Изд-во ТПУ, 2007. — 522 с.: ил. — Библиогр.: с. 494-518. — ISBN 5-98-298-1710.

5. Системы электростимуляции органов и тканей/ Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. Л.И. Калакутский, С. А. Акулов, А.А. Федотов.

УДК 631.8

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

А.С. Терентьев

Академия ФСИН России, г. Рязань

Рассмотрен принцип использования цифровизации дифференцированного внутривосоченного внесения удобрений в комбинации с использованием современной автоматизированной и роботизированной агротехники. Предложена схема использования комбинированного агрегата дифференцированного внесения удобрений и агробота.

Ключевые слова: минеральные удобрения, дифференцированное внесение удобрений, почвозащитная технология, комбинированный рабочий орган.

DIGITALIZATION OF FERTILIZER APPLICATION PROCESSES IN AGRICULTURE

A.S. Terentev

Academy of the Federal penitentiary service of Russia, Ryzan

The principle of using digitalization of differentiated intra-soil fertilization in combination with the use of modern automated and robotic agricultural machinery is considered. The scheme of using a combined unit of differentiated fertilization and acrobat is proposed.

Key words: mineral fertilizers, differentiated fertilization, soil protection technology, combined working body.

Современные исследования показывают, что одним из перспективных способов внесения минеральных удобрений, отвечающим экологическим и экономическим требованиям является внутрипочвенное, осуществляемое до посева или одновременно с посевом. Однако выпускаемые отечественной промышленностью комбинированные сеялки для внесения основной дозы удобрений и посева зерновых имеют большую массу, что резко увеличивает их давление на почву и приводит к ее уплотнению, а также снижению последующей урожайности на данном участке [2, 4, 5, 6].

Внутрипочвенное внесение основной дозы минеральных удобрений является неотъемлемой частью почвозащитной технологии возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивает повышение эффективности действия удобрений, позволяет сократить количество прохода агрегата по полю и способно улучшить агрофизические свойства почвы.

Однако еще П. А. Костычев, на основе проводимых экспериментов в своих работах 1949 г. отмечал, что неоднородность почвенного покрова напрямую связана с урожайностью сельскохозяйственных культур. В этой работе он отмечал, что раньше землепользователи не обращали внимания на неоднородность почвы в различных участках поля, а урожайность на различных участках поля, даже удаленных друг от друга на незначительном расстоянии может значительно отличаться при одинаковом внесении удобрений [1].

В своем диссертационном исследовании 2006 года, автор рассматривает возможность использования дифференцированного внесения удобрений по видам в условиях опытного хозяйства Рязанской области. Для того времени процесс составления карты почвенного плодородия и программы для автоматического управляющего устройства дозами в зависимости от координаты машинотракторного агрегата был весьма трудоемок и требовал «ручного» позиционирования, что уменьшало точность процесса внесения заданной дозы удобрений по видам на конкретный участок поля [7].

В настоящее время, с развитием компьютерных технологий, появились новые направления в почвенной картографии – цифровая почвенная картография (ЦПК). Этим направлением в России занимались следующие ученые: Пузаченко – 2006 г.; Козлов – 2009; Королук, Овечкин – 2010; Савин – 2012; Симакова – 2014; Кириллова и др. – 2014; Савин, Симакова, Овечкин – 2015. Цифровизация, интерактивные системы и полная автоматизация – это современное направление создания автоматической системы картографирования почв и почвенных свойств [3].

Создание цифровой платформы картографии и дифференцированного внесения основной дозы удобрений позволит автоматизировать сельскохозяйственные процессы, а комбинированное использование с системами дифференцированного дозирования и внесения удобрений позволит в значительной степени увеличить точность внесения на отдельные участки поля заданной дозы удобрений, что в целом позволит решить комплекс важнейших задач. К таким задачам можно отнести

комбинированное внесение удобрений и культивацию почвы, при использовании комбинированных рабочих органов, уменьшение дозы внесения удобрений, в зависимости от состава почвы на отдельных участках поля, повысить экологическое состояние сельскохозяйственного земледелия при внутрипочвенном адресном внесении меньшей дозы удобрений, а также увеличение производительности труда, за счет уменьшения количества работников и всесуточного использования агробота исключив человеческий фактор.

Использование роботизированной техники в сельском хозяйстве сможет в значительной степени повысить производительность труда, экологизацию производства сельскохозяйственной продукции, облегчить труд работников сельского хозяйства и в целом значительно повысить рентабельность производства сельскохозяйственной продукции.

Библиографический список

1. Костычев П. А. Почвы черноземной области России их происхождение, состав и свойства. Ч.1. – М.: Сельхозгиз, – 1949. – С. 151.
2. Курочкина Е.Н., Питюрина И.С. Оценка материальной базы сельхозпроизводителей в рамках обеспечения продовольственной безопасности страны / Е.Н. Курочкина, И.С. Питюрина// В сборнике: Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. Сборник статей по материалам XIV Международной научно-практической конференции, посвященной сто100-летию кафедры ботаники и физиологии растений. 2019. С.103-106.
3. Савин И. Ю., Столбовой В. С., Иванов А. Л. и др. Технологии составления и обновления почвенных карт / Авт. И. Ю. Савин, В. С. Столбовой, А. Л. Иванов, Е. Ю. Прудникова, А. В. Жоголев, А. Я. Воронин. – М.: Издательство «Перо», 2019. – 328 с.
4. Терентьев А.С. Повышение урожайности сельхозкультур в подсобных хозяйствах учреждений уголовно-исполнительной системы как фактор увеличения продовольственной безопасности. [Текст] / А. С. Терентьев // Сборник тезисов выступлений и докладов участников Международной научно-практической конференции «Теоретические и практические проблемы развития уголовно-исполнительной системы в Российской Федерации и за рубежом». – Рязань: Академия ФСИН России, 2018. – С. 1335-1339.
5. Терентьев, А. С. Повышение урожайности зерновых культур, возделываемых в подсобных хозяйствах учреждений уголовно-исполнительной системы [Текст] / А. С. Терентьев // Сб.: Актуальные вопросы материально-технического снабжения органов и учреждений уголовно-исполнительной системы : Материалы Всероссийского науч.-практич. кругл. стола. – Рязань: Академия ФСИН России, 2017. – С. 82-87.
6. Терентьев, А. С. Способы повышение урожайности зерновых культур возделываемых в подсобных хозяйствах учреждений уголовно-

исполнительной системы [Текст] / А. С. Терентьев // Сб.: III Международный пенитенциарный форум «Преступление, наказание, исправление» (к 20-летию вступления в силу Уголовно-исполнительного кодекса Российской Федерации) : Материалы тезисов, выступлений и докладов участников Международной науч.-практ. конф. – Рязань: Академия ФСИН России, 2017. – С. 273-276.

7. Терентьев, А. С. Технология и машина дифференцированного внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений с комбинированными тукозаделывающими рабочими органами : дис. ... канд. техн. Наук [Текст] / А. С. Терентьев. – Рязань, 2006. – 154 с.

УДК 615.843

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПОРАЦИИ

Н.В. Рисованый, С.С. Климашевский

Общество с ограниченной ответственностью «Лорге Медикал», г. Томск

Рассмотрен принцип использования генератора мощных наносекундных импульсов в качестве генератора электрического поля для проведения процедуры электропорации. Предложена функциональная схема устройства и осциллограмма его работы.

Ключевые слова: электропорация, пороговое напряжение, магнитный генератор.

DESIGN OF A NANOSECOND PULSE GENERATOR FOR THE ELECTROPORATION

N.V.Risovany, S.S.Klimashevsky

«LORGE Medical», Tomsk

The principle of using a generator of powerful nanosecond pulses as an electric field generator for electroporation procedure is considered. A functional diagram of the device and an oscillogram of its operation are proposed.

Keywords: electroporation, threshold voltage, magnetic generator.

Электропорация – это метод создания гидрофильных пор на поверхности липидного бислоя для изменения проницаемости клеток. Данный метод используется в биотехнологии для внедрения макромолекул в клетку, а также для введения ДНК, ферментов, антител в клетку *in vitro* [1]. В основе метода лежит теория о том, что при воздействии на липидный бислой электрического поля определенной напряженности происходит следующее:

1. Мембрана начинает перезаряжаться, проводя ионы натрия и хлора;

2. В некоторых местах мембраны происходит пробой диэлектрика, оставляющий отверстие, заполняемое водой;

3. Открывается молекулярный транспорт для поглощения поляризованных молекул внутрь клетки.

Основной причиной гибели клеток при электропорации является необратимая электропорация, вызывающая лавинообразное образование стабильных пор. Она наблюдается при превышении определённого значения напряженности электрического поля, называемого пороговым напряжением. Пороговое напряжение и порог электропорации так же зависят от внутреннего строения липидного бислоя. Например, присутствие на поверхности полимера этиленгликоля снижает порог электропорации, а холестерин увеличивает порог электропорации [4].

В ходе исследования клеточных мембран обычно применяется диапазон воздействия от сотен микросекунд до нескольких миллисекунд, так как существует зависимость между напряженностью электрического поля и временем воздействия [4]. При превышении данного диапазона наблюдается нагрев тканей по закону Джоуля-Ленца, но область наносекундного диапазона изучена мало, и исследования в этой области требуют устройства, для генерации стабильных наносекундных импульсов большой мощности. В качестве такого устройства был разработан магнитный генератор импульсов.

Основа работы магнитного генератора состоит в нелинейности свойств сердечников импульсных трансформаторов. Пока сердечник не насыщен и трансформатор работает в активном режиме, напряжённость поля в нем не превышает уровня, зависящего от свойств самого сердечника. Ток в этом случае ограничен по закону Ампера. В случае, когда напряженность превышает порог напряженности, сердечник переходит в состояние насыщения, а на вторичной обмотке образуется импульс высокой энергии.

Структурная схема устройства состоит из трех основных блоков: Вторичный источник электропитания – А, магнитный генератор – Б, однокристалльный микроконтроллер ATmega – В (рисунок 1). В установившемся режиме источник заряжает конденсатор. В момент перехода в активный режим, конденсатор разряжается на первичную обмотку трансформатора. После фильтрации сигнал поступает на электрод. Обратная связь гальванически развязана и позволяет определить импеданс ткани с последующим изменением уровня заряда конденсатора.

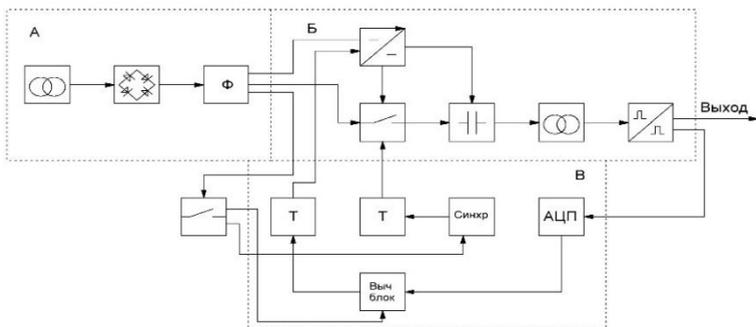


Рис. 1 – Функциональная схема генератора

Данный генератор позволяет получить импульсы длиной несколько десятков наносекунд и максимальным напряжением в 350 Вольт. Обратная связь позволяет ограничить напряженность поля на электродах и измерить доставленную в ткани энергию.

Известно, что импеданс человеческой ткани включает активную емкостную часть. Емкостная - составляет порядка 690 нФ, активная - около 50 Ом для кровонаполненных тканей при расположении электродов на расстоянии 3 мм друг от друга. Для снятия осциллограммы работы был использован стенд. Осциллограмма работы представлена на рисунке 2.

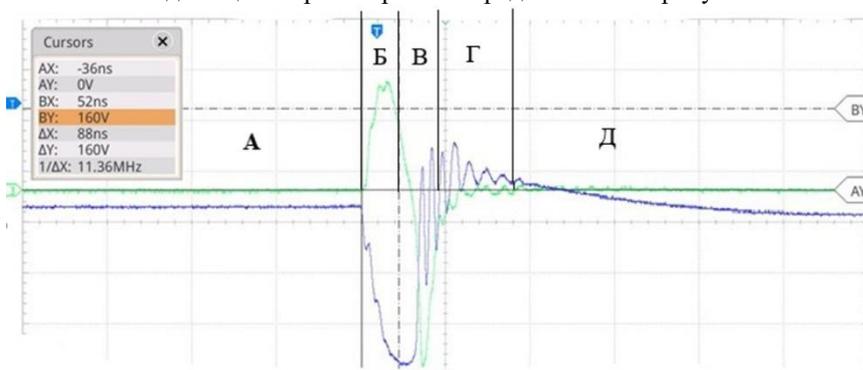


Рис. 2 – Осциллограмма работы генератора

Покана внешний порт генератора не передаются управляющие сигналы, источник заряжает конденсатор, а на осциллограмме не наблюдается сигнал (А). Когдабыполученуправляющий сигнал от оператора, конденсатор намагничивает первичную обмотку трансформатора, и на выходе наблюдается положительный импульс (Б). Импульс имеет длительность 88 нс и амплитуду 160 В. После прохождения положительного импульса наблюдаются колебания ввиду того, что первичная обмотка трансформатора и конденсатор образуют колебательный LC-контур.

Обратный импульс имеет длительность - 50 нс и амплитуду - 350 В. Далее ключ закрывается (Г) и генератор переходит в режим покоя (Д).

Выходные параметры данного генератора позволяют проводить исследования как на биологическом материале, так и непосредственно на тканях *in vivo*. Уровень интенсивности электрического поля и плотности тока достаточны для электропорации, но требуют дальнейшего изучения на предмет безопасности и эффективности.

Библиографический список

1. James Weaver, Yu. Chizmadzhev. Theory of electroporation: A review // *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, Boston, 1996. p. 135-160;
2. James C. Weaver. Electroporation Theory Concepts and Mechanisms // *Methods Mol Biol*, 1995. p. 1-26;
3. T. E. Thompson. Experimental Bilayer Membrane Models // *Protoplasma* volume 63, Karlsruhe, 1967. p. 194-196;
4. Mounir Tarek. Membrane Electroporation: A Molecular Dynamics Simulation // *Biophysical journal*, 2005. p. 4045-4053.

СЕКЦИЯ 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

УДК 615.47;519.7:007.52

АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИИ ВЫБОРА СОСТАВА ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ

В.В. Аксенов¹, О.Ю. Больбина², Р.В. Степашов¹

Научный руководитель – Корневский Н.А. доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии

¹Юго-Западный государственный университет», г. Курск,

²ОБУЗ «Курская городская клиническая больница скорой медицинской
помощи», г. Курск

В работе приведена количественная оценка состава информативных признаков для комплексной оценки уровня информативности классификационных признаков.

Ключевые слова: комплексная оценка, информативность, нечеткая структура данных, метод экспертной оценки.

ANALYSIS OF THE METHODOLOGY FOR SELECTING THE COMPOSITION OF INFORMATIVE FEATURES FOR A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE LEVEL OF INFORMATIVENESS OF CLASSIFICATION FEATURES

V.V. Aksenov¹, O.Y. Bolbina², R.V. Stepashov¹

Scientific supervisor - N.A. Korenevsky, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Biomedical Engineering

¹South-West State University", Kursk,

²Kursk city Clinical hospital of emergency medical care", Kursk

The paper presents a quantitative assessment of the composition of informative features for a comprehensive assessment of the level of informativeness of classification features.

Keywords: comprehensive assessment, informativeness, fuzzy data structure, expert evaluation method.

Задача выбора состава информативных признаков рассматривается как основная и важная часть более общей задачи – распознавания образов (РО) основная цель которой состоит в отнесении объектов исследования к одному из интересующих пользователя классу состояний [3-7]. В общем виде для решения задачи распознавания необходимо решить две проблемы: выбрать состав информативных признаков с возможным определением количественного вклада каждого из них в отнесении объекта к одному из

исследуемых классов состояний и установить вид решающего правила осуществляющего это отнесение [1-7].

Часто при начальном подходе к решению задач РО на первом этапе выбирают все доступные для анализа признаки описывающие объект исследования. Это как правило приводит к использованию десятков, а иногда и сотен признаков, что чаще всего требует трудоемких и дорогостоящих работ. С математической точки зрения определенные сложности возникают в связи с тем, что значительное число задач решается с использованием разнотипных данных часть из которых представляют собой количественные признаки, а часть – качественные (номинальные и порядковые шкалы) [6,7].

Существует множество методов оценки информативных признаков, включая варианты когда объекты исследования описываются разнотипными (разнородными) данными. Например, в работе [7] для выбора информативных признаков из разнородного их пространства описываются и исследуются на эффективность методы на основе: дискретного поиска в обучающей выборке информативной зоны; кластеризации; предположения о нормальности распределений объектов в кластерах; теоретико-информационного понятия энтропии; на непараметрических оценок плотности. В работе [6] описываются популярные в медицинских исследованиях методы Кульбака, Шеннона и накопленных частот и исследуется их эффективность на решении задачи отбора информативных признаков для синтеза модели оценки тяжести заболевания бронхиальной астмой. В работе [7] делая обобщение по различным методам оценки информативности признаков автор указывает на то, что за оценку информативности признака в распознавании образов принято считать отношение качества распознавания контрольной выборки в полном пространстве признаков к качеству распознавания, проводимого без учета оцениваемого признака (метод скользящего контроля). Если известен вид функции распределения, информативность признаков может оцениваться через средние квадратичные отклонения.

Если перед исследователем стоит задача из множества методов оценки информативности выбрать один наиболее эффективный то в работе [7] этот выбор предлагается осуществлять пропорционально эффективности соответствующего метода на контрольной выборке.

Анализ перечисленных и других методов выбора состава информативных признаков показывает, что подавляющее большинство из них для своей надежной работы требует наличия значительного объема репрезентативных выборок.

При этом в медицинской практике встречается достаточно большое количество практически важных задач для решения которых на данном этапе развития медицинской науки практически не возможно подготовить репрезентативные обучающие выборки. К таким задачам относятся прежде всего задачи прогнозирования и диагностики ранних стадий заболеваний, некоторые задачи оценки стадий заболеваний и др. Это связано прежде всего

с тем, что современная медицинская наука не знает четко установленных границ между здоровьем и предболезнью, между предболезнью и болезнью и т.д.

В основу решаемых задач предлагается методология синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП), ориентированная на принятие решений и, в частности, распознавания образов в условиях неполного и нечеткого описания анализируемых данных при отсутствии или недостатке требуемого для надежного решения статистического материала [8, 9, 10, 12, 13]. Эффективность использования этой методологии при решении плохо формализуемых задач была проверена на большом количестве примеров в области медицины, экологии, психологии и эргономики [8-14].

В рамках МСГНРП вопросы выбора состава информативных признаков в условиях неопределенности частично рассматриваются при описании процедур разведочного анализа [8,13,14]. При решении задач синтеза решающих правил при использовании нечеткой парадигмы возможны варианты: полного отсутствия обучающих и контрольных выборок; отсутствия обучающих выборок на момент синтеза решающих правил и формирования контрольных выборок (неполных или репрезентативных) в процессе практического применения решающих правил; наличия обучающих выборок малого (недостаточного для применения надежных статистических критериев) объема на момент синтеза решающих правил и формирования контрольных выборок (неполных или репрезентативных) в процессе практического применения решающих правил.

Библиографический список

1. Буняев В.В. Методы поиска информативных проекционных зон и синтеза нечетких решающих правил для рефлексодиагностики / Буняев В.В., Корневский Н.А.// Системный анализ и управление в биомедицинских системах. -2004. -Т. 3, № 3. -С. 175-178.
2. Воронцов И.М., Шаповалов, В.В., Шерстюк, Ю.М. Здоровье. Опыт разработки и обоснование применения автоматизированных систем для мониторинга и скринирующей диагностики нарушений здоровья. Спб.: ООО «ИПК Коста». 2006.-432с.
3. Дюк В., Эмануэль, В. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. – СПб: Питер, 2003. –528с.
4. Журавлев Ю.И., Гуревич И.Б. Распознавание образов и анализ изображений // Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990.- С. 149–190.
5. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999.- 270 с.
6. Капустина С.В. Выбор информативных признаков для оценки тяжести заболевания / С.В. Капустина, О.В. Кирякова, А.В. Капустина, Л.А. Лапина, А.А. Ступина // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21955>.

7. Колесникова С.И. Методы анализа информативности разнотипных признаков/ С.И. Колесникова// Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. Обработка информации.- 2009.- № 1(6).- С 69- 80.
8. Корневский Н.А. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография / Н.А. Корневский, С.Н. Родионова, И.И. Хрипина. Старый Оскол: ТНТ, 2019. – 472 с
9. Корневский Н.А. Прогнозирование возникновения и рецидива инсультов головного мозга на основе гибридных нечетких моделей / Н.А. Корневский, А.В. Быков, Е.В. Цымбал, В.В. Аксенов, Д.С. Родионов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. - Т. 6. - № 3. - (22). - С. 50-72.
10. Корневский Н.А. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н. А. Корневский, А. Н. Шуткин, С.А. Горбатенко, В.И. Серебровский. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. – 472с.
11. Аксёнов, В.В. Математические методы классификации больных с различными заболеваниями (в акушерско-гинекологической практике) и здоровых лиц / В.В. Аксёнов // В сборнике: Медико-экологические информационные технологии - 2018 Сборник научных статей по материалам XXI Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Н.А. Корневский. 2018. - С. 47-49.
12. Агарков Н.М. Диагностическая значимость и кластеризация параметров системного гуморального иммунитета при остром эндометрите / Н.М. Агарков, В.В. Аксёнов, А.В. Иванов и др. // Клиническая лабораторная диагностика. -2017. -Т. 62, № 12. -С. 750-753.
13. Корневский Н.А. Нечеткие математические модели прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний сельско-хозяйственных рабочих контактирующих с ядохимикатами / Н.А. Корневский, Р.В. Степашов, В.В. Аксёнов и др. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. -2018. -Т. 6, № 3 (22).- С. 5-18.
14. Родионов Д.С., Аксёнов В.В. Нечеткая модель диагностики форм пиелонефрита у женщин в дородовой и послеродовой период // В сборнике: Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы (Биомедсистемы-2021). Сборник трудов XXXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2021. С. 251-254.

УДК 004.81; 159.942; 612.821

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИКИ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ НА КОГНИТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

К.В. Сидоров

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь

Описано влияние изменения динамики эмоциональных реакций человека на его когнитивную активность с помощью анализа паттернов электроэнцефалограмм (ЭЭГ) и электромиограмм (ЭМГ). Продемонстрированы результаты исследований.

Ключевые слова: эмоциональная реакция, когнитивная активность, ЭЭГ.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DYNAMICS OF THE EMOTIONAL REACTIONS ON HUMAN COGNITIVE ACTIVITY

K.V. Sidorov

Tver State Technical University, Tver

The influence of changes in the dynamics of a human emotional reactions on his cognitive activity is described by analyzing the patterns of electroencephalogram (EG) and electromyogram (EMG). Research results demonstrated.

Keywords: emotional reaction, cognitive activity, EEG.

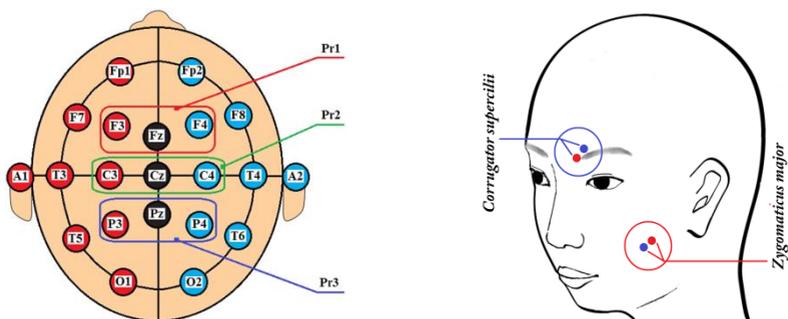
В настоящее время различные исследователи уделяют весьма большое внимание следующей актуальной задаче – контроль и мониторинг психофизиологического состояния человека на основе анализа разнотипных биомедицинских сигналов (ЭЭГ, ЭМГ, ЭКГ, ЭОГ, ФПГ, КГР и др.) [1]. Среди множества узкоспециализированных направлений исследований в текущей области можно выделить довольно интересный тип научных проектов, ориентированный на изучение влияния изменения динамики эмоциональных реакций человека на его когнитивную активность и принятие решений [2].

Ученые могут анализировать когнитивную активность и эмоциональные реакции человека как взаимосвязанные процессы, так и по отдельности [3]. Данный факт связан с большой сложностью при параллельном съеме и анализе биомедицинских данных от физиологических подсистем организма испытуемого, описывающих эмоции человека и его интеллектуальную деятельность. Таким образом, вышеописанная сфера научных исследований нуждается в расширении математического и технического инструментария.

В рамках данной работы проведены экспериментальные исследования с применением методов электроэнцефалографии и электромиографии. Получены коррелированные объективные биомедицинские данные об эмоциональных и физиологических реакциях испытуемых. Биомедицинские данные включают показатели электрической активности головного мозга (ЭЭГ) и челюстно-лицевой области головы человека (ЭМГ). При детальном изучении показателей сигналов установлены предварительные

доказательства того, что паттерны ЭМГ лучше передают вариацию динамики эмоциональных реакций испытуемого, а паттерны ЭЭГ позволяют лучше выявлять информацию, связанную с когнитивной активностью человека.

В качестве испытуемых выступили студенты ТвГТУ (5 женщин и 5 мужчин, возраст от 19 до 22 лет). На рис. 1 продемонстрирована методика съема биомедицинских сигналов. Показатели ЭЭГ снимались по 19 отведениям, показатели ЭМГ – по двум каналам («*corrugator supercilii*», «*zygomaticus major*») с левой стороны лица испытуемого.



а – система отведений «10-20» [4] б – метод «Fridlund and Cacioppo» [5]

Рис. 1 – Регистрация паттернов ЭЭГ и ЭМГ

Испытуемые решали в уме вычислительные задания (умножение однозначных чисел на двухзначные числа), которые им были предъявлены через серии презентаций со слайдами (на каждом слайде было представлено по 10 примеров подобных заданий). После 80 минут выполнения человеком вычислительных задач запускалась эмоциональная стимуляция (продолжительностью 20 минут) в виде серии из позитивных и негативных видеоклипов со звуком, отобранных заранее по предпочтениям испытуемого.

Создана база данных (БД) из 600 паттернов ЭЭГ (12 секунд, 3 000 отсчетов) и 600 паттернов ЭМГ (12 секунд, 12 000 отсчетов). В работе показана интерпретация паттернов ЭЭГ двух видов: 1) задания до эмоциональной стимуляции (от трех последних слайдов, максимальная усталость); 2) задания после стимуляции (от трех первых слайдов, максимальная бодрость). По паттернам ЭЭГ рассчитывались спектральные признаки – спектральные плотности мощности (СПМ) [6], границы частотного диапазона 0-125 Гц. Представление паттерна ЭЭГ из БД:

$$X(s)_{\text{ЭЭГ}} = \langle \{x_1, x_2, \dots, x_r\}_1, \{x_1, x_2, \dots, x_r\}_2, \dots, \{x_1, x_2, \dots, x_r\}_l \rangle, \quad (1)$$

где $X(s)_{\text{ЭЭГ}}$ – признаки СПМ; s – номер паттерна ЭЭГ; $s = 1 \div 600$; l – номер отведения ЭЭГ; $l = 1 \div 19$; r – номер признака СПМ; $r = 1 \div 40$ (шаг определения признака СПМ составлял 3 Гц).

После процедуры расчета характеристик (1) определялись абсолютные значения мощностей (АЗМ) – площади под соответствующими участками СПМ для анализируемых частотных диапазонов ($\text{мкВ}^2/\text{Гц}$) [6]. В дальнейшем

применен новый тип признака Pr_i (рис. 1, а):

$$Pr1 = \sum(A3M)_{F3+F4+Fz}, Pr2 = \sum(A3M)_{C3+C4+Cz}, Pr3 = \sum(A3M)_{P3+P4+Pz}. \quad (2)$$

Система характеристик (2) предоставила возможность для выявления закономерности – после эмоциональной стимуляции у каждого испытуемого характерно увеличение значений информативных признаков Pr_i (рис. 2) в ритмах дельта 1 (0,5-2 Гц) и дельта 2 (2-4 Гц). Эмоциональная стимуляция (с негативными стимулами) позволила снизить количество ошибок, которые допускали испытуемые при выполнении ими вычислительных задач.

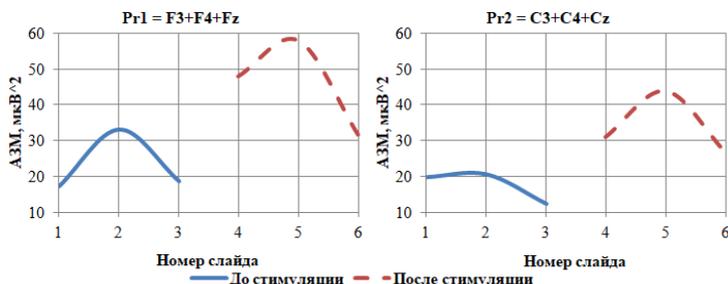


Рис. 2 – Усредненное признаковое пространство (2) для ритма дельта 1

Итоги исследований могут свидетельствовать о дальнейших возможностях выгодного использования приведенного в работе аппарата для анализа и прогнозирования динамики эмоциональных реакций испытуемого и контроля его когнитивной активности.

Работа выполнена в рамках стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых (СП-3061.2022.5).

Библиографический список

1. Majumder S., Mondal T., Deen M.J. Wearable sensors for remote health monitoring // *Sensors*. 2017. Vol. 17, No. 1, 130. doi: 10.3390/s17010130.
2. Wang M., Yin X., Zhu Y., Hu J. Representation learning and pattern recognition in cognitive biometrics: a survey // *Sensors*. 2022. Vol. 22, No. 14, 5111. doi: 10.3390/s22145111.
3. Рабинович М.И., Мюезинолу М.К. Нелинейная динамика мозга: эмоции и интеллектуальная деятельность // *Успехи физических наук*. 2010. Т. 180, № 4. С. 371-387.
4. Jasper H.H. The ten-twenty electrode system of the international federation // *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1958. Vol. 10. Pp. 371-375.
5. Fridlund A.J., Cacioppo J.T. Guidelines for human electromyographic research. *Psychophysiology*. 1986. Vol. 23, No. 5. Pp. 567-589.
6. Филатова Н.Н., Сидоров К.В. Компьютерные модели эмоций: построение и методы исследования. Тверь: ТвГТУ, 2017. 200 с.

БЕСКОНТАКТНАЯ АКУСТОГРАФИЯ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ СИНДРОМА ОБСТРУКТИВНОГО АПНОЭ СНА

Ю.Г. Горшков

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
г. Москва

Предложены решения бесконтактной акустографии при исследовании звуков дыхания и храпа. Разработано программное обеспечение получения вейвлет-сонограмм анализируемых звуков повышенного частотно-временного разрешения. Рассмотрены параметры звуков дыхания и храпа при выявлении синдрома обструктивного апноэ сна.

Ключевые слова: бесконтактная акустография, звуки дыхания и храпа, вейвлет-сонограмма, синдром обструктивного апноэ сна.

CONTACTLESS ACOUSTOGRAPHY IN DETECTING OBSTRUCTIVE SLEEP APNEA SYNDROME

Y.G. Gorshkov

*Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research
University), Moscow*

Solutions of contactless acoustography in the study of breathing and snoring sounds are proposed. A software for obtaining a wavelet sonogram of analyzed sounds with increased frequency-time resolution has been developed. The parameters of breathing and snoring sounds in the detection of obstructive sleep apnea syndrome are considered.

Key words: contactless acoustography, breathing and snoring sounds, wavelet sonogram, obstructive sleep apnea syndrome.

Около 30% всего взрослого населения постоянно храпит во сне. Храп не только создает очевидные социальные проблемы, но и является предвестником и одним из основных симптомов синдрома обструктивного апноэ сна (СОАС), проявляющегося остановками дыхания во сне с последующими громкими всхрапываниями. При тяжелых формах СОАС может отмечаться до 400-500 остановок дыхания за ночь продолжительностью до минуты и более (суммарно до 3-4 часов!), что ведет к острому и хроническому недостатку кислорода во время сна. Это, в свою очередь, существенно увеличивает риск развития артериальной гипертонии, нарушений ритма сердца, инфаркта миокарда, инсульта и внезапной смерти во сне [1].

У больных с СОАС в течение дня отмечается тяжелая сонливость. Особенно опасны приступы острой сонливости во время управления автомобилем, существенно увеличивающие риск дорожно-транспортных

происшествий (ДТП). До 20 % всех случившихся ДТП происходят из-за засыпания водителей за рулем [2]. Несмотря на то, что храп является наиболее распространенным симптомом СОАС, мало известны его акустические характеристики [3].

Бесконтактная акустография. Акустографическое исследование звуков дыхания и храпа относится к новому направлению неинвазивных методов функциональной диагностики. Предложенное автором направление высокоточного анализа акустических биомедицинских сигналов [4-6] основано на технологии многоуровневой вейвлет-обработки [7]. Бесконтактный съем и регистрация звуков дыхания и храпа осуществляется с использованием специализированного диктофона.

Регистрация сигналов. Запись звуков дыхания и храпа осуществлялась с использованием специализированного диктофона «Защита», который устанавливался в 2 метрах от кровати пациентов, проходящих полисомнографическое обследование. На рис. 1 представлен внешний вид специализированного диктофона «Защита» (компания «Телесистемы», Россия). «Защита» является разработкой нового класса малогабаритных регистраторов акустических сигналов [8].



Рис. 1 – Внешний вид специализированного диктофона «Защита»

Характеристики диктофона «Защита»: полоса частот 100 Гц - 10 кГц; отношение сигнал/шум - 80 дБ; чувствительность встроенного микрофона 10 - 12 метров; время записи во встроенную память 1200 часов. Безопасность доступ к памяти диктофона обеспечивается установкой пароля. Каждая запись имеет метку времени и даты начала записи, снабжается «цифровой подписью», которая позволяет определить, на каком именно диктофоне производилась запись и была ли выполнена модификация зарегистрированного файла. Записи, полученные диктофоном «Защита», могут быть использованы в суде в качестве доказательства.

Программное обеспечение «WaveView MWA». Последняя версия программных средств «WaveView» [7]. Используемые материнские вейвлеты: Морле, Хаара, «Мексиканская шляпа». Обеспечивает точность, недоступную цифровой обработке сигналов на основе преобразования Фурье. Тестирование программного обеспечения (ПО) «WaveView MWA» показало возможность выделения нестационарных сигналов малого уровня до -60 дБ. **Результаты исследований.** У 28 пациентов (мужчины и женщины, возраст 38 – 64 года), одновременно с проведением стандартных сомнологических исследований, выполнена регистрация звуков дыхания и храпа во сне. Дистанционная запись осуществлялась в отделении сомнологии ФГБУ НМИЦ оториноларингологии ФМБА России. Полученные файлы, длительностью от 5 до 8 часов из встроенной памяти диктофона «Защита» записывались в память персонального компьютера с последующей обработкой «WaveView MWA». На рис. 2 представлена вейвлет-сонограмма (частотно-временное представление «видимый звук») акустических сигналов дыхания и храпа одного из пациентов до остановки дыхания во сне. Под храпом будем понимать дыхательный звук с уровнем звукового давления более чем 50 дБ [9].

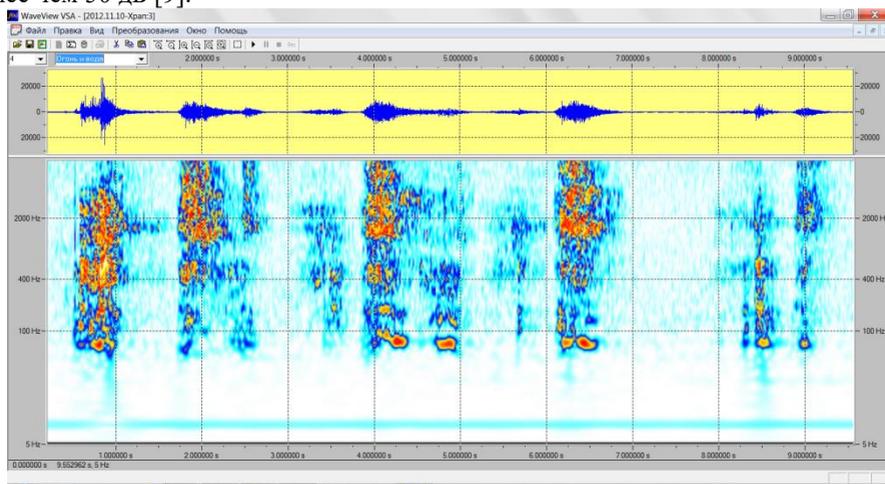


Рис. 2 – Вейвлет-сонограмма звуков дыхания и храпа

На рис. 3 – вейвлет-сонограмма звуков дыхания и храпа с участком остановки дыхания 42 сек (заштрихованная область).

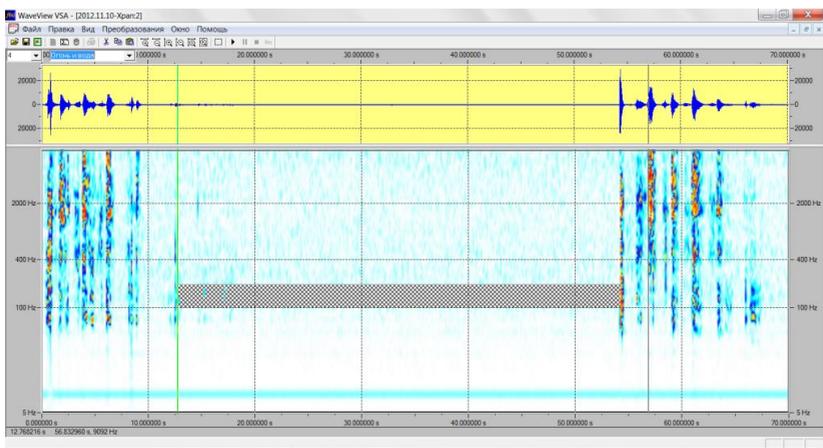


Рис. 3 – Вейвлет-сонограмма звуков дыхания и храпа с участком остановки дыхания 42 сек

Вейвлет-сонограмма звуков дыхания и храпа с кратковременными (10 - 20 сек) остановками дыхания представлена на рис. 4.

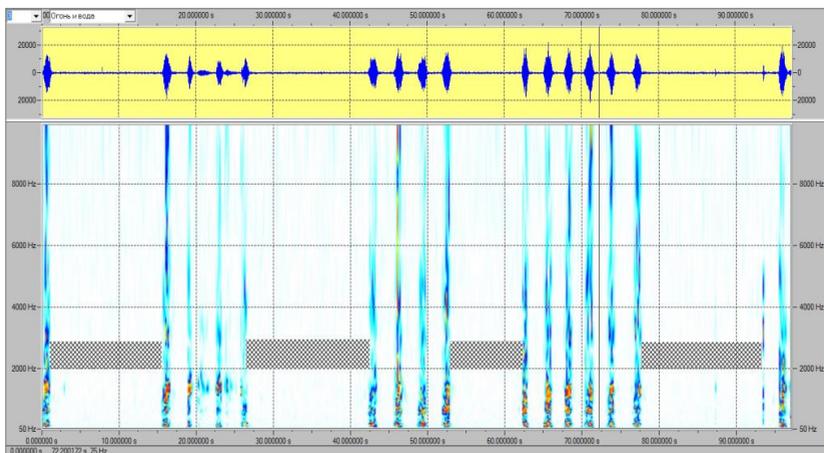


Рис. 4 – Вейвлет-сонограмма звуков дыхания и храпа с кратковременными остановками дыхания

Из анализа структуры звуков дыхания и храпа (рис. 2 – 4) следует, что они относятся к сложным нестационарным сигналам с полосой частот 50 - 10000 Гц. Вейвлет-сонограммы, полученные «WaveView MWA» обеспечивают высокое разрешение анализируемых сигналов как во временной, так и в

частотной области. Пример параметров звуков дыхания и храпа одной из записей пациента с синдромом обструктивного апноэ сна [10]: длительность записи 4 час. 51 мин; общее количество 23; диапазон частот храпа 50 - 10000 Гц; максимальное значение частотной компоненты храпа 1200 Гц; максимальное звуковое давление (громкость) храпа 91 дБ; артефакты - фон 100 Гц.

Библиографический список

1. Бузунов Р.В., Легейда И.В., Царева Е.В. Храп и синдром обструктивного апноэ сна у взрослых и детей. Практическое руководство для врачей. М., 2013. 124 с.
2. Бузунов Р.В., Черкасова С.А. Как лечить храп и синдром обструктивного апноэ сна. М., 2019. 97 с.
3. Kim JW, Kim T, Shin J, Lee K, Choi S, Cho SW. Prediction of Apnea-Hypopnea Index Using Sound Data Collected by a Noncontact Device. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2020 Mar;162(3):392-399. doi: 10.1177/0194599819900014.
4. Горшков Ю.Г. Новая технология анализа звуков дыхания, храпа и форсированного выдоха. Материалы II Научно-практической конференции «Клиническая сомнология» 26–27 февраля 2016 г. Москва. С. 42.
5. Горшков Ю.Г. Многоуровневый вейвлет-анализ звуков дыхания и храпа при выявлении синдрома обструктивного апноэ сна // Биомедицинская радиоэлектроника № 7, 2016. С. 73-78.
6. Горшков Ю.Г. Акустографическое исследование звуков сердца и легких с оценкой эмоциональной напряженности пациента по голосу. Материалы XXX Всероссийской научно-технической конференции «БИОМЕДСИСТЕМЫ -2017» 6-8 декабря 2017 г. Рязань. С. 163-166.
7. Горшков Ю.Г. Обработка речевых и акустических биомедицинских сигналов на основе вейвлетов / Научное издание. М.: Радиотехника. 2017. 240 с.
8. Горшков Ю.Г., Ефременков С.В., Баринев Е.В. Специализированные средства программно-технического комплекса регистрации речевого сигнала и криминалистического исследования фонограмм // Материалы XXVI Всероссийской научной конференции «Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов», 7 июня 2017 г. С. 218-222.
9. Levartovsky A., Dafna E., Zigel Y., Tarasiuk A. Breathing and Snoring Sound Characteristics during Sleep in Adults. PubMed. US National Library of Medicine National Institutes of Health. *J Clin Sleep Med.* 2016 Mar;12(3): 375-84. doi: 10.5664/jcsm.5588.
10. Горшков Ю.Г., Захарьева Н.Н., Каиндин А.М., Коняев И.Д. Применение бесконтактных средств диагностики нарушений дыхания во сне с оценкой уровня эмоциональной напряженности. Материалы V Научно-практической конференции с международным участием «Клиническая сомнология» 28-30 ноября 2019 г. Москва. С. 18-19.

УДК 159.942; 612.741.1; 612.821

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО СИГНАЛАМ ЛИЦЕВОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ

К.В. Сидоров, Ю.В. Сидорова

ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», г. Тверь

Приведены результаты анализа динамики эмоциональных реакций человека на основе метода лицевой электромиографии. Анализ паттернов электромиограмм (ЭМГ) выполнен с помощью реконструкции аттрактора с последующим выделением информативных признаков в двумерных проекциях.
Ключевые слова: эмоция, лицевая электромиография, аттрактор, ЭМГ.

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF HUMAN EMOTIONAL REACTIONS BASED ON FACIAL ELECTROMYOGRAPHY SIGNALS

K.V. Sidorov, Yu.V. Sidorova

Tver State Technical University, Tver

The results of the analysis of the dynamics of human emotional reactions based on the method of facial electromyography are presented. The analysis of patterns electromyograms (EMG) was carried out using the reconstruction of the attractor followed by the allocation of informative features in two-dimensional projections.
Keywords: emotion, facial electromyography, attractor, EMG.

Эмоциональные реакции (эмоции) играют важную роль в различных сферах жизни человека. Они отражают наши реакции на изменения внешней среды, дополняют коммуникативную функцию, оказывают существенное влияние на успешность принятия решений. Последний аспект важен при разработке новых технических решений, позволяющих упростить процедуру обмена информацией между компьютером и человеком, тем самым повысить эффективность его трудовой деятельности. Данное направление исследований называется человеко-компьютерным взаимодействием (HCI), оно находит широкое применение во многих отраслях от атомной энергетики до разработки компьютерных игр и нейротехнологий [1].

Информация об изменении динамики эмоциональных реакций человека может поступать параллельно от нескольких разнотипных источников биомедицинских данных, например, электрические сигналы от головного мозга, сердца и мышц (ЭЭГ, ЭКГ и ЭМГ), речевые сигналы, видеосигналы мимики, поз и жестов, кожно-гальваническая реакция (КГР) и др. Одним из самых информативных способов восприятия и передачи эмоциональных реакций является мимика человека. Помимо изучения данного механизма с помощью видеосигналов, также весьма хорошо зарекомендовал себя метод лицевой электромиографии (fEMG). Текущая технология позволяет измерять активность лицевых мышц человека путём обнаружения и усиления слабых электрических импульсов, генерируемых его мышечными волокнами.

Исследования в текущей области проводятся уже несколько десятилетий, например, в работе [2] авторы отмечают тот факт, что сигналы, поступающие от большой скуловой мышцы («*zygomaticus major*») и мышцы, сморщивающей бровь («*corrugator supercilii*»), дают возможность осуществлять мониторинг негативных эмоциональных реакций, в частности, контролировать депрессивное состояние у человека. Развитие данной технологии привело к расширению набора эмоциональных реакций, которые поддаются распознаванию и классификации. Более новые исследования предоставляют свидетельства о возможности определения таких эмоциональных реакций как злость, грусть, удовольствие, радость, отвращение и страх [3]. Помимо этого, метод fEMG может быть использован для оценки интенсивности эмоциональной реакции [4]. Это особенно важно при прогнозировании динамики эмоциональных реакций испытуемых.

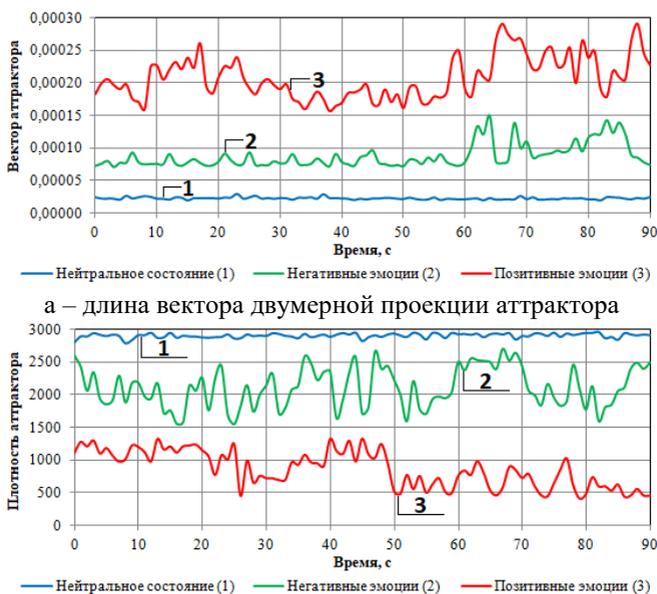
Среди характерных признаков, извлекаемых с помощью метода fEMG, присутствуют в большинстве случаев различные спектральные характеристики, среднее значение, медианное абсолютное отклонение, максимум и минимум временного ряда, степень асимметрии [5].

В рамках данной работы создана база данных (БД) из 600 паттернов ЭМГ, которые являются откликами испытуемых при применении к ним аудиовизуальной стимуляции, в процессе которой людям предъявлялись эмоционально-дифференцированные аудио и видео стимулы. Все паттерны ЭМГ разделены на 3 класса (нейтральное состояние, негативные эмоции, позитивные эмоции) в соответствии с эмоциональными реакциями, которые ощущали испытуемые при аудиовизуальной стимуляции. Для регистрации ЭМГ был использован прибор «Нейро-МВП-4» (производитель ООО «Нейрософт», г. Иваново). Показатели ЭМГ снимались по двум каналам («*corrugator supercilii*», «*zygomaticus major*») с левой стороны лица испытуемого (частота дискретизации 1 000 Гц). В качестве испытуемых выступили студенты ТвГТУ (5 женщин и 5 мужчин, возраст от 19 до 22 лет).

Для анализа объектов из БД применены методы нелинейной динамики, в частности, процедура реконструкции аттрактора с последующим выделением признаков (рис. 1) в его трех двумерных проекциях: 1) длина усредненного вектора (R , ус. ед.); 2) плотность траекторий (γ , ус. ед.) в центре проекций. Подробная методика расчета данных параметров приведена в работе [6].

Для класса «Нейтральное состояние» значения атрибутивных признаков аттрактора практически не меняются, они остаются приблизительно на одном уровне на протяжении всего периода наблюдения. Для классов «Негативные эмоции» и «Позитивные эмоции» характерны существенные изменения динамики эмоциональных реакций у всех испытуемых (на некоторых временных интервалах может наблюдаться их скачкообразный характер из-за специфики предъявляемых аудиовизуальных стимулов).

В дальнейшем данная информация, дополненная сигналами ЭЭГ, будет использована для построения продукционных правил при создании модели прогнозирования динамики эмоциональных реакций человека.



а – длина вектора двумерной проекции аттрактора
 б – плотность траекторий в центре двумерной проекции аттрактора
 Рис. 1 – Усредненное признаковое пространство для паттернов ЭМГ (мужчина, возраст 22 года, канал «corrugator supercilii»)

Работа выполнена в рамках стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых (СП-3061.2022.5).

Библиографический список

1. Нейротехнологии: нейро-БОС и интерфейс «мозг-компьютер» / Кирой В.Н., Лазуренко Д.М., Шепелев И.Е., Асланян Е.В., Миняева Н.Р., Бахтин О.М. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2017. 244 с.
2. Facial muscle patterning to affective imagery in depressed and nondepressed subjects / Schwartz G., Fair P., Salt P., Mandel M., Klerman G. // Science. 1976. Vol. 192. Pp. 489-491.
3. Jonghwa K., Ande E. Emotion recognition based on physiological changes in music listening // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2008. Vol. 30, No. 2. Pp. 2067-2083.
4. Affective computing and the impact of gender and age / Rukavina S., Gruss S., Hoffmann H., Tan J.W., Walter S., Traue H.C. // PLOS ONE. 2016. Vol. 11, No. 3. doi: 10.1371/journal.pone.0150584.
5. Latha C.P., Priya M.M. A study on emotion identification using facial electromyogram signals and neural networks // International Journal of Soft Computing. 2016. Vol. 11, No. 6. Pp. 437-443.
6. Филатова Н.Н., Сидоров К.В. Компьютерные модели эмоций: построение и методы исследования. Тверь: ТвГТУ, 2017. 200 с.

РОЛЬ ТЕСТ-СИСТЕМ COVID-19 В ОБЕСПЕЧЕНИИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Д.А. Кузнецов¹, Е.М. Бабкина¹, Д.Д. Лукашина¹, А.В. Захаров²

¹ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова», г. Рязань

²ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина», г. Рязань

В исследовании проанализирована роль тест-систем Covid-19 в обеспечении фармацевтической безопасности, с использованием специальных методов разработана современная классификация тест-систем Covid-19, позволяющая оптимизировать фармацевтическую безопасность. Изучена система государственных закупок тест-систем Covid-19, проанализирован ассортимент тест-систем зарегистрированных в Государственном реестре и их наличие в фармацевтических организациях.

Ключевые слова: фармацевтическая безопасность, тест-системы Covid-19, фармацевтические организации.

THE ROLE OF COVID-19 TEST-SYSTEMS IN ENSURING PHARMACEUTICAL SAFETY

D.A. Kuznetsov¹, E.M. Babkina¹, D.D. Lukashina¹, A.V. Zakharov²

¹Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov, Ryazan

²Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Ryazan

The study analyzes the role of Covid-19 test-systems in ensuring pharmaceutical safety, using special methods, a modern classification of Covid-19 test-systems has been developed, which allows optimizing pharmaceutical safety. The system of public procurement of Covid-19 test-systems was studied, the range of test systems registered in the State Register and their availability in pharmaceutical organizations was analyzed.

Key words: pharmaceutical safety, Covid-19 test-systems, pharmaceutical organizations.

Актуальность исследования обусловлена стремительным распространением острой респираторной инфекции Covid-19, вызываемой коронавирусом SARS-Cov-2. В марте 2020 года ВОЗ объявила, что вспышка COVID-19 приобрела характер пандемии. Она опасна тем, что одновременное заболевание множества людей может привести к нарушению фармацевтической безопасности - перегруженности системы здравоохранения с повышенным количеством госпитализаций и летальных исходов. Наиболее важной ответной мерой является снижение скорости распространения инфекции, чтобы растянуть её во времени и уменьшить нагрузку на систему здравоохранения государства. Одним из методов

снижения скорости распространения инфекции является диагностика заболевания с целью своевременной изоляции больного. Диагностировать вирус можно с помощью различных тест-систем на Covid-19.

В настоящей работе представлена разработанная классификация тест-систем, а также анализ их ассортимента. Исследование расширяет знание о медицинских изделиях, разработанных для своевременной диагностики Covid-19 и об их доступности для населения, фармацевтов и врачей. Исследование тест-систем Covid-19 является одним из элементов обеспечения фармацевтической безопасности. Фармацевтическая безопасность – это состояние защищенности населения и фармацевтических организаций от угроз, возникающих в сфере производства, распределения и потребления фармацевтических товаров и услуг [1, 2]. Из этого следует, что для обеспечения фармацевтической безопасности должна быть создана система защиты от потенциальных угроз, т.е. система мер, направленных на мониторинг и преодоление таких угроз Covid-19: необходимо сформировать перечень потенциальных угроз; оценить силу их воздействия и характер вызываемых последствий; разработать способы выявления, оценки, профилактики, ликвидации потенциальных угроз; внедрить оптимальные технологические решения в практику. В этой связи представляется актуальной цель нашего исследования [3, 4].

Целью настоящей работы является разработка классификации тест-систем SARS-CoV-2, предназначенных для своевременной диагностики Covid-19, как элемента обеспечения фармацевтической безопасности, исследование ассортимента тест-систем, анализ финансовых затрат на закупку тест-систем SARS-CoV-2. Объектами исследования выступили тест-системы SARS-CoV-2, официально зарегистрированные в России, а также фармацевтические организации различных организационно-правовых форм. Нормативной базой послужили ведомственные документы, нормативно-правовые акты Минздрава и Росздравнадзора России. В ходе исследования использовался контент-анализ публикаций, системный подход и современные методы классификации, методы анализа фармацевтической безопасности.

Построение классификации тест-систем Covid-19 это разделение множества тест-систем на подмножества по их сходству или различию в соответствии с принятыми методами. В качестве официального документа для разработки классификации нами использовался Государственный реестр медицинских изделий, ведение реестра осуществляет Росздравнадзор. По данным Государственного реестра медицинских изделий, до 15.03.2022 было зарегистрировано 170 тест-систем; 7 месяцев спустя, количество зарегистрированных изделий заметно выросло - на момент 15.10.2022 зарегистрировано 212 тест-систем Covid-19.

Важность и необходимость классификации тест-систем позволяет лучше изучить их потребительские свойства, изучить их ассортимент, оптимизировать условия транспортировки, хранения и применения. В ходе исследования нами использовался фасетный метод классификации,

позволяющий разделить множество тест-систем на отдельные, независимые друг от друга подразделения – фасеты. Например, при классификации тест-систем Covid-19 по структуре использовался фасетный метод классификации.

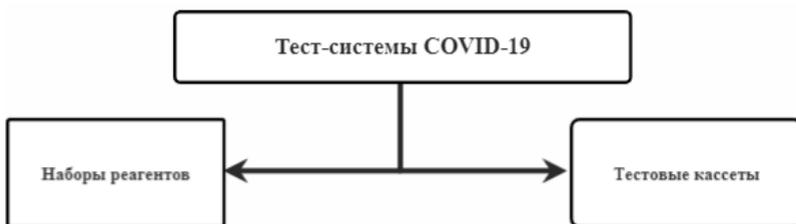


Рис. 1 – Классификация тест-систем Covid-19 по структуре.

Иерархический метод классификации позволяет разделить множество тест-систем начиная с общих признаков, таких как вид применяемого анализа. В данном случае это позволяет разделить тест системы на подмножества, так что все тест-системы составляют единую систему классификации распределяемого множества. В нашем случае фиксируются и сходства, и различия между тест-системами Covid-19. Например, иерархический метод использовался для классификации тест-систем по виду анализа.

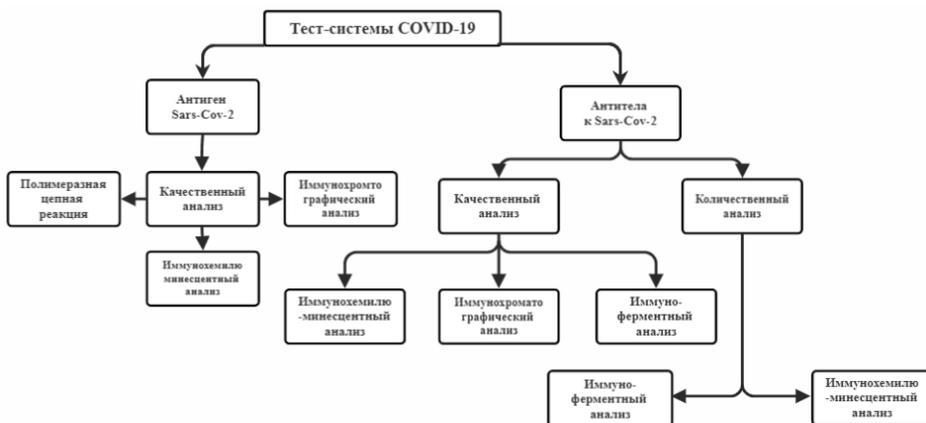


Рис. 2 – Классификация тест-систем Covid-19 по виду анализа

В ходе настоящего исследования нами проведен анализ Единой информационной системы в сфере закупок - было установлено, что в период с 1 марта 2021 по 1 марта 2022 на закупку тест-систем Covid-19 потрачено 53095174 рублей.

Изучен порядок применения одной из самых точных экспресс-тестов GenSure на антиген COVID-19. Тест-система представляет собой полимерную иммунохроматографическую технологию и принцип двойной

структуры с антителами, который предназначен для качественного обнаружения антигена N-белка SARS-CoV-2 непосредственно в мазках из носа человека. Несмотря на то, что экспресс-тест GenSure на антиген COVID-19 являются новинкой — это одни из самых точных тестов, представленных на рынке. Перед тестированием образец необходимо довести до комнатной температуры. После открытия пакета из алюминиевой фольги тест-кассету следует использовать как можно скорее в течение 1 часа. Результаты предназначены для обнаружения антигена N-белка SARS-CoV-2. Антиген обычно обнаруживается в образцах из верхних дыхательных путей во время острой фазы инфекции. Положительные результаты указывают на наличие вирусных антигенов.

Выводы. В ходе исследования нами проанализирована роль и место тест-систем Covid-19 в обеспечении фармацевтической безопасности: с использованием фасетного и иерархического методов разработана классификация тест-систем Covid-19, проведен анализ аптечного ассортимента тест-систем и оценены масштабы государственных закупок. В перспективе составленная нами классификация упростит поиск необходимых по методу исследования тест-систем и разовьёт общее представление об их разнообразии. В ходе анализа установлено, что в некоторых аптеках г. Рязани данные медицинские изделия отсутствуют, либо представлены в недостаточном количестве. Исследование может способствовать увеличению поставок в аптечные сети и улучшению качества обслуживания пациентов, что повысит уровень фармацевтической безопасности. Наличие большого объёма закупок государства указывает на необходимость развития российских производителей тест-систем Covid-19, наращиванию объёмов производства новых систем, повышению их доступности для населения, что повысит уровень фармацевтической безопасности.

Библиографический список

1. Кузнецов Д.А. Исследование экологической безопасности фармацевтического производства // Кузнецов Д.А. / Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2022, Т-21(2S). С. 271.
2. Кузнецов Д.А. Фармацевтическая информатика. // Кузнецов Д.А., Захаров А.В. / Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы–Биомедсистемы-2021 [текст]: сб. тр. XXXIV Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 8-10 декабря 2021 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань, 2021. – С. 261-264.
3. Мошкова Л.В. Современные проблемы фармацевтической безопасности //Л.В. Мошкова, Э.А. Коржавых, Д.А. Кузнецов //Жизнь без опасностей. Здоровье. Профилактика. Долголетие. – 2011. - № 1. – С.20-27.
4. Кузнецов Д.А. Обоснование и разработка методологии управления экономической безопасностью фармацевтических систем: автореф. дис.... докт. фармац. наук. – М., 2015. – 49 с.

УДК 13058. 616.12-007.61

АЛГОРИТМ ВЫЯВЛЕНИЯ АРИТМИИ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ В СРЕДЕ MATLAB

А.С. Бугрова, Е.П. Виноградова

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

В работе рассматривается алгоритм диагностирования одной из наиболее распространенных кардиопатологий. Приводится пример реализации в среде MatLab.

Ключевые слова: аритмия, электрокардиограмма.

ALGORITHM FOR DETECTING ARRHYTHMIAS WITH IMPLEMENTATION IN MATLAB

A.S. Bugrova, E. P. Vinogradova

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg

The article considers an algorithm for diagnosing one of the most common cardiopathologies. An example of implementation in the MatLab environment is given.

Key words: arrhythmia, electrocardiogram.

В современном мире заболевания сердечно-сосудистой системы являются одной из главных проблем здравоохранения [1], поэтому необходимо разрабатывать новые системы для ранней диагностики болезней.

Целью данной работы является разработка алгоритма определения аритмии по данным электрокардиографии (ЭКГ).

Некоторые виды аритмий, такие как мерцательная аритмия, оказывают выраженное негативное влияние на здоровье населения и качество жизни. ЭКГ является неинвазивным методом исследования сердца, поэтому он основной и жизненно важный диагностический инструмент для выявления болезней сердца.

При аритмии у человека нарушается сердечный ритм, который характеризуется изменением частоты и регулярности сердечных сокращений. Синусовая аритмия на ЭКГ характеризуется колебанием продолжительности интервалов RR, превышающих 0,15 с.

Была использована среда MatLab: система является мировым стандартом в области современного математического и научно-технического программного обеспечения [2].

Была написана программа, которая анализирует файл ЭКГ, взятый из открытой базы данных Phisionet «A large scale 12-lead electrocardiogram database for arrhythmia study»[3].

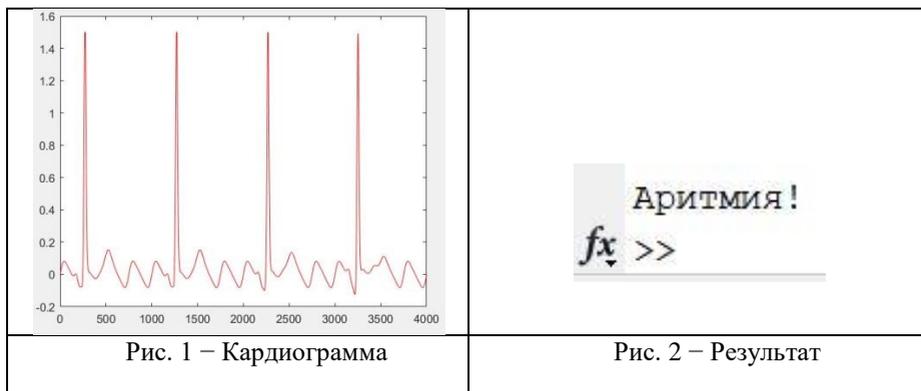
При обнаружении RR-интервалов, которые превышают 0.15 секунд, а также вариабельность которых выше нормы, программа выводит строчку

«Аритмия!».

Ниже представлен листинг программы:

```
load test.dat
plot(test,'r')
xlim([0 4000])
k=1;
maximum=max(test);
s=[];
for j=k:length(test)
if test(j)>=0.6*maximum
n=1;
s=[s,n];
else
n=0;
s=[s,n];
end
end
o = find(s) % находим все ненулевые элементы массива
r=[];
for i=2:length(o)
if o(i)-o(i-1)>5
r=[r,o(i-1)]
end
end
c=[];
for p=2:(length(r)-2)
a=(r(p)-r(p-1))/(r(p+2)-r(p+1))
c=[c,a]
end
l=mean(c);
if abs(l-1)>0.2
str=sprintf('Аритмия!');
end
disp(str);
```

Результат работы программы приведен на рисунках 1 и 2.



Библиографический список

1. ВОЗ публикует статистику о ведущих причинах смертности и инвалидности во всем мире за период 2000–2019 гг. [Электронный источник] – URL: <https://www.who.int/ru/news/item/09-12-2020-who-reveals-leading-causes-of-death-and-disability-worldwide-2000-2019> # (дата обращения 01.11.2022)
2. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с
3. A large scale 12-lead electrocardiogram database for arrhythmia study. [Электронный источник] – URL: <https://physionet.org/content/ecg-arrhythmia/1.0.0/> (дата обращения 01.11.2022)

УДК 613.644

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ВИБРАЦИИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПИЛОТА В ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ «ПИЛОТ - ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ - ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА»

Д.С. Коптев, Ю.В. Шуклина

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Рассмотрены источники и причины воздействия на функциональное состояние пилотов вибрации летательных аппаратов, описаны возникающие биодинамические эффекты. Представлены данные резонансных частот действующих на тело человека.

Ключевые слова: *вибрация, резонанс, колебание, летательный аппарат, эргатическая систем, функциональное состояние.*

STUDY OF THE INFLUENCE OF BIODYNAMIC EFFECTS OF VIBRATION ON THE FUNCTIONAL STATE OF THE PILOT IN THE ERGACY SYSTEM "PILOT - AIRCRAFT - ENVIRONMENT"

D.S. Koptev, Y.V. Shuklina
Southwestern State University, Kursk

The sources and causes of the influence of aircraft vibration on the functional state of pilots are considered, and the resulting biodynamic effects are described. The data of resonant frequencies acting on the human body are presented.

Key words: *vibration, resonance, oscillation, aircraft, ergatic systems, functional state.*

Известно, что в рамках авиационной эргономики изучаются системные закономерности взаимодействия пилота с авиационной техникой. Предметом исследования авиационной эргономики является авиационная эргатическая система «пилот – летательный аппарат – окружающая среда». Задача состоит в том, чтобы создать и оптимизировать процессы, средства и условия для пилотной деятельности для повышения эффективности и безопасности работы авиационной системы, а также для поддержания здоровья всех авиационных экспертов и продления их профессионального долголетия.

Поэтому в рамках авиационной эргономики изучены психологические и психофизиологические характеристики деятельности человека, включённые в авиационную систему, сформулированы эргономические требования к средствам, условиям и алгоритмам деятельности авиационных экспертов, создан метод учета антропогенных факторов в авиации и подтверждены пути и средства совершенствования авиационных технологий от неблагоприятных факторов.

Вибрация – фактор, к которому относят механические колебания, сотрясения и толчки, воздействующие на тело или отдельные органы человека [1].

Несбалансированная сила винтов, роторов, звуковая нагрузка от винтов и пульсация давления воздушного пограничного слоя, обтекающего летательный аппарат, все это является источниками вибрации на летательном аппарате. Причиной вибрации вертолетов является асимметричная аэродинамика несущего винта в поступательном полете, обусловленная тем, что наступающая лопасть обтекается суммой окружной и поступательной скоростей, а отступающая – их разностью. Вибрация обычно передаётся в организм человека только через прямой контакт с колеблющейся поверхностью или объектом. В зависимости от амплитудно-частотных характеристик и положения по отношению к организму человека, вибрация делится на общую и локальную. Низкочастотные вибрации, которые вызывают системные колебания, влияющие на весь организм, относятся к общим. Высокочастотные колебания влияют только при касании вибрирующей поверхности части тела пилота, поэтому они считаются

локальными [2, стр. 22].

Наиболее выраженные вибрации наблюдаются на вертолётах. Характер вертолётных вибраций в основном определяется работой несущей системы вертолёта. Преобладающей, как правило, является частота первой лопастной гармоники, равная произведению числа лопастей несущего винта на число его оборотов. Вибрации на вертолёте действуют по всем направлениям.

Разные частоты вызывают резонанс в разных частях тела. При возбуждении вертикальной вибрации резонанс органов брюшной полости наблюдается на частотах 4-8 Гц, а голова находится в резонансном состоянии на частоте 25 Гц. На более высоких частотах глазное яблоко входит в резонанс. Амплитудно-частотные характеристики человеческого тела имеют резонансные частоты, чаще всего, проявляющиеся, в диапазоне 60 Гц, значение которых существенно зависят от осанки. Резонанс органов, приводит к появлению болевых ощущений, растяжению соединительной ткани, поддерживающей орган, на который воздействует вибрация [2, стр. 119].

Влияние как локальной, так и общей вибрации приводит к колебанию органа с амплитудой, превышающей виброперемещение. Считается, что вибрация на частоте менее 1 Гц воспринимается как качка, потому что человеческое тело движется в пространстве в целом. Не смотря на то, что вибрации выше 90 Гц передаются через ткани, они не заставляют все тело вибрировать (рис.1) [3].

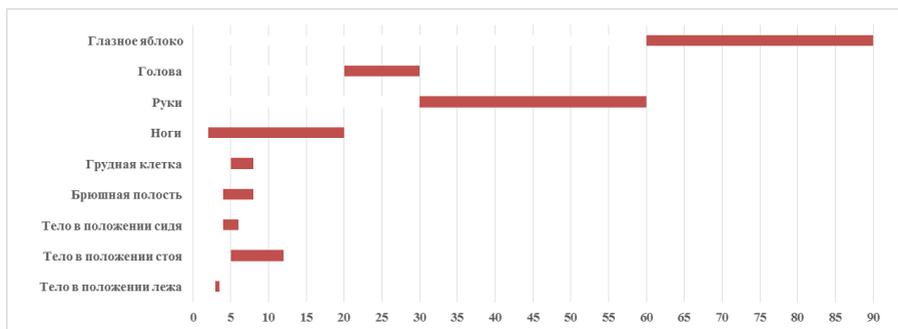


Рис. 1 – Резонансные частоты тела человека и его отдельных частей

У людей, находящихся в положении сидя, под воздействием горизонтальной вибрации, которая наблюдается от груди к спине и обратно, наблюдается резонанс на частоте от 1 до 3 Гц. В первую очередь ослабление вибраций, распространяющихся по телу, зависит от частоты вибрации. Под действием вибраций с частотой менее 10 Гц, независимо от места ее изначального воздействия, вибрация проходит через тело с небольшим затуханием. Амплитуда вибрации значительно уменьшается с увеличением

частоты. Эти эффекты основаны на механических свойствах человеческого тела, особенно на устойчивости организма к вибрации, которая характеризуется механическим импедансом [2, стр. 126].

Таким образом, вибрация может напрямую влиять на эффективность выполнения профессиональной деятельности летным экипажем, усложнять процесс пилотирования, снижать производительность, уменьшать функциональный резерв организма. Многолетнее воздействие вибраций на организм человека является дестабилизирующим фактором всей эргатической системы «пилот - летательный аппарат - окружающая среда», влияние которого приводит к изменениям в центральной нервной системе, а так же в других органах организма.

Библиографический список

1. Методические рекомендации по снижению неблагоприятного действия вибрации на летательных состав вертолетной авиации : методические рекомендации / А.А. Ворона, С.К. Солдатов, М.Н. [и др.] ; под общ. ред. Ю.Б. Мосеева. – Москва, 2016. – 21 с.
2. Ступакова, Г.П. Энциклопедический справочник по авиационной эргономике и экологии / Г.П. Ступакова, В.Г. Сыроватко, О. Т. Балуева – Москва, 1997. – 443 с.
3. Хунданова, Л.Л. Основы экологии и эргономики в авиации / Л.Л. Хунданова, Г.П. Ступакова – Москва, 1997. – 194 с.

УДК 57.087

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПИЛОТА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПОЛЕТНЫХ ФАКТОРОВ

Д.С. Коптев, Ю.В. Шуклина

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Рассмотрены причины, которые могут привести к нарушениям деятельности и ошибкам пилота. Представлены некоторые стрессоры, характерные для различных стадий полета, и профилактические меры. В соответствии с требованиями авиационной практической медицины приведены методы для оценки показателей функционального состояния.

Ключевые слова: полет, работоспособность, стресс, деятельность, метод, состояние.

METHODS FOR DIAGNOSTICS OF PILOT FUNCTIONAL STATE UNDER CHANGING FLIGHT FACTORS

D.S. Koptev, Y.V. Shuklina

Southwestern State University, Kursk

The reasons that can lead to violations of activity and pilot errors are considered. Some stressors specific to different stages of flight and preventive measures are presented. In accordance with the requirements of aviation practical medicine, methods are given for assessing indicators of the functional state.

Key words: *flight, performance, stress, activity, method, state.*

Современные самолеты и вертолеты – это высокотехнологичные системы управления и выдачи команд в реальном масштабе времени и широкими возможностями боевого применения. Так же, как и военные летчики, пилоты гражданской авиации действуют в агрессивной и быстроизменяющейся среде в условиях высокой психической нагрузки, стресса, утомления. Это перегрузки маневрирования, гипоксия, нарушения пространственной ориентации, которые могут привести к нарушениям деятельности и ошибкам пилота с полной потерей работоспособности и в результате к аварии или катастрофе [1].

Анализ литературы, опубликованной за последние годы [1-3], показывает, что по числу публикаций в открытой печати тема воздействия перегрузок боевого маневрирования на пилота высокоскоростной реактивной авиации по-прежнему занимает одно из ведущих мест в деятельности НИР и ОКР различных научных учреждений, промышленных фирм и университетов за рубежом.

Профилактика неблагоприятного воздействия различных факторов полета требует для своей эффективной реализации больших материальных затрат и значительных усилий интеллектуального потенциала научных сотрудников и инженеров.

Можно выделить следующие опасные ситуации на различных стадиях полета [3, стр. 50]:

1. Состояние готовности (на аэродроме, на этапе подготовки к разгону) – снижение работоспособности, дегидратация, учащение пульса из-за повышения температуры в кабине;

2. Взлет (приземление) – снижение работоспособности, ошибки, утомление в связи с психоэмоциональной нагрузкой;

3. На маршруте – ухудшение дыхания, утомление в связи с вибрациями, нарушение голосовой, речевой связи, потеря слуха из-за шумов, гипоксия, баротравма, декомпрессионная болезнь в связи с низким барометрическим давлением.

4. Маневрирование – утомление, «черная пелена», потеря сознания из-за радиальных ускорений ($+G_z$) и маневрирования в полете, болезнь движения, дезориентация в связи с угловым ускорением.

5. Аварийное приземление – травмы в связи с ударным ускорением.

Понятие функциональное состояние (ФС) является фундаментальным и широко распространенным в медицине и прикладной физиологии. Наиболее признанной является формулировка В.И. Медведева, который определяет ФС как комплекс наличных характеристик тех функций и качеств человека,

которые прямо или косвенно обуславливают выполнение трудовой деятельности [2, стр. 128].

В процессе полета на сегодняшний день контроль ФС пилота сводится к реализации процедур физиологического контроля. Рекомендуется использовать следующие показатели психофизиологического состояния летчика [3, стр. 124]:

- показатели функционирования сердечно-сосудистой системы: частота сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин.), артериальное давление (АД, мм рт.ст.);

- показатели функции внешнего дыхания: частота дыхательных циклов (ЧД, цикл/мин.), минутный объем дыхания, дыхательный объем, время задержки дыхания;

- электромиограмму мышц: амплитуда и частота;

- электроокулограмму (длительность и частота фиксаций, маршруты и т.д.);

- кожно-гальваническую реакцию: амплитуда и частота осцилляций, латентный период, форма кривой;

- уровень сахара и холестерина в крови;

- уровень насыщения артериальной крови организмом.

Для реализации процедуры контроля, имеющиеся методы и средства диагностики должны соответствовать следующим критериям:

1. Быстродействие.
2. Минимальный контакт с обследуемым.
3. Неинвазивность.
4. Малый объем снимаемых данных.
5. Воспроизводимость.
6. Минимальное влияние на испытуемого.

В соответствии с требованиями авиационной практической медицины имеются следующие методы, применяемые для оценки показателей физиологического контроля [2, стр. 333]:

- электрокардиография (ЭКГ);
- электромиография (ЭМГ);
- электроэнцефалография (ЭЭГ);
- вариабельность сердечного ритма;
- пульсовая оксиметрия;
- реография;
- минимальный объем кровообращения (МОК).

Анализ практик применимости данных методов для организации процедур полетного контроля функционального состояния показывает, что в соответствии с изложенными выше критериями наиболее высокой информативностью, воспроизводимостью результатов в реальном масштабе времени, экономичностью показателей, высокой информационной способностью является спектрофотометрические методы, в частности,

пульсовая оксиметрия.

Библиографический список

1. Научно-информационные бюллетень : методические рекомендации / А.А. Ворона, В.А. Пономаренко, В.В. Лапа [и др.] – Москва, 2016. – 55 с.
2. Ступакова, Г.П. Энциклопедический справочник по авиационной эргономике и экологии / Г.П. Ступакова, В.Г. Сыроватко, О. Т. Балуева – Москва, 1997. – 443 с.
3. Пухов, В.А. Оценка функционального состояния организма военных специалистов : научно-практическое руководство / В.А. Пухов, И.В. Иванов, С.В. Чепур – Санкт-Петербург, 2016. – 312 с.

УДК 614.2:616-082:005.6:006(045)

МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ: ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

В.А. Соловьёва

ФГБОУ ВО СГУ имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов

В данной работе понятие качество медицинской помощи рассматривается в контексте идеологии качества стандартов серии ИСО 9000. Определяется, каким образом могут использоваться классические инструменты контроля качества.

Ключевые слова: *качество медицинской помощи, контроль качества, инструменты контроля качества.*

MEDICAL CARE: POSSIBILITIES FOR THE USE OF QUALITY CONTROL TOOLS

Solovyova V.A.

Saratov State University, Saratov

In this paper, the concept of quality of medical care is considered in the context of the quality standards ideology of the ISO 9000 series standards. It is determined how classical quality control tools can be used.

Keywords: *quality of medical care, quality control, quality control tools.*

Качество медицинской помощи (далее – МП) – устоявшийся термин, прочно вошедший в практику современного здравоохранения. В Федеральном законе Российской Федерации от 21.11.2011 №323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», в статье 10 обозначены характеристики, определяющие качество МП, которые расширяют понимание термина. Показатели качества, сформулированные на

основе подобных характеристик, могут содержаться в клинических рекомендациях, порядках оказания МП, стандартах МП. Каждый такой показатель имеет значение, достижение которого отслеживается с помощью методов государственного контроля, преимущественно с помощью экспертиз.

Хочется отметить, что виден некоторый разрыв в существующей практике оказания качественных услуг на рынке и в здравоохранении: если в первом уже активно говорят о риск-ориентированном подходе, о всеобщем управлении качеством (TQM), то в здравоохранении до сих пор используется именно понятие контроля. Хотя, конечно, отдельные авторы поднимают вопросы управления рисками в медицине [2], это пока не реализовано повсеместно.

Отметим также, что для контроля МП используют преимущественно идею результативности, а не эффективности (то есть достижения запланированного результата без учета затраченных на это ресурсов), что с точки зрения практики менеджмента, ограничивает возможности принятия управленческих решений.

Предполагаем, что инструментарий теории менеджмента может быть интегрирован и успешно использоваться в практике здравоохранения, что позволит повысить эффективность медицинских процессов, сделает их более наглядными. Проанализируем это на примере некоторых из семи основных инструментов контроля качества.

1) Причинно-следственная диаграмма (диаграмма Исикавы). Данная диаграмма позволяет конкретизировать проблему и возможные причины ее возникновения. Кузнецов Э.С. и Кузнецова О.С. предлагают использовать ее для построения алгоритма консультаций, в качестве инструмента доказательной медицины, при выполнении диагностических исследований. Авторы предполагают, что это позволит сократить количество документооборота, устранив дублирование информации. Добавим, что данный инструмент может использоваться высшим руководством медицинской организации для поиска решений текущих проблем обеспечения качества МП, например, связанных с кадровым или материально-техническим обеспечением процессов или же с низкой удовлетворенностью пациентов, как это предлагает Жижневская В.И. в своей работе [4].

2) Диаграмма Парето. Суть данного инструмента – в поиске наиболее значимых проблем (20%), решение которых будет способствовать достижению 80% результата/эффективности процесса. Арефьева Т.С., например, предлагает его использовать для определения параметров, которые будут наиболее информативны при диагностировании ожирения у детей. Их использование позволит конкретизировать работу врача и тем самым повысить качество МП [5].

3) Гистограммы. Данный инструмент позволяет графически отразить частотность распределения любой переменной. Арефьева Т.С. приводит

пример, что гистограммы могут использоваться «для обнаружения организации микробъектов в крови» [5]. Также с ее применением может определяться распределение показателя госпитализации людей с различным патогенезом в районах и городах [6].

4) Контрольные листки – инструмент для сбора и упорядочивания данных. Данный инструмент используется в здравоохранении, например, это поверочные листы, содержащие список контрольных вопросов, используемых при осуществлении государственного контроля качества МП. Брескина Т.Н. также предлагает карту качества МП (и инструкцию по ее заполнению), которая является живым примером применения данного инструмента [7].

Таким образом, мы видим, что инструменты контроля качества могут активно применяться в медицинской практике для решения разноуровневых задач. Однако необходимо, чтобы большее количество медиков и руководителей медицинских организаций обладало подобным инструментарием для обогащения собственной практики. Обучать тому, как можно управлять качеством МП, необходимо еще на этапе обучения в университете, причем рассказывать необходимо не только об уже существующих моделях качества в рамках системы здравоохранения, но и о наиболее успешных моделях, функционирующих на рынке. Это позволит формировать у будущих медиков ряд ключевых управленческих навыков [8], что входит в структуру мягких навыков, необходимых специалистам любого профиля.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 21.11.2011 N 323-ФЗ (ред. от 11.06.2022, с изм. от 13.07.2022) "Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2022).
2. Винокурова С.А. Применение методов анализа рисков как важный аспект контроля качества в медицинских организациях // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2020. Материалы XXXIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2020. С. 313-315.
3. Кузнецов Э.С., Кузнецова О.С. Использование причинно-следственной диаграммы как инструмента доказательной медицины // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т. 18. № 4-1. С. 1351-1353
4. Жижневская В.И. Система менеджмента качества в области здравоохранения // Молодежь И XXI век – 2020. Курск, 2020. С. 359-362.
5. Арёфьева Т.С. Инструменты анализа качества в медицине [Электронный ресурс] // IX Международная студенческая научная конференция. Студенческий научный форум – 2017. URL: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017032479>

6. Хафизьянова Р.Х., Бурыкин И.М., Алеева Г.Н. Индикаторы потенциально предотвратимых госпитализаций как инструмент улучшения качества медицинской помощи при сердечно-сосудистых заболеваниях // Казанский медицинский журнал. 2020. Том 101, № 2. С. 264-270.
7. Брескина Т.Н. Карта экспертизы качества медицинской помощи как основа организации контроля качества медицинской помощи в многопрофильном стационаре // Вестник Росздравнадзора. 2016. № 1. С. 21-31.
8. Бугаева И.О., Барсукова М.И., Клоктунова Н.А. Управленческий дискурс в пространстве медицинского вуза // Всемирный день качества - 2021. Материалы II международной конференции. Саратов, 2021. С. 16-22

УДК 615.471:617.7

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫЯВЛЕНИЯ
И АНАЛИЗА ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ
КОЖНОГО ПОКРОВА**

А.З. Яфаров, Н.А. Железняк

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

э

Рассмотрены параметры выявления злокачественных новообразований кожного покрова. Предложена формализация медицинских критериев для автоматизации новообразований кожного покрова с помощью алгоритма ЭВМ.

Ключевые слова: меланома кожи, невус, новообразование, анализ.

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR AUTOMATION OF THE
DETECTION AND ANALYSIS OF MALIGNANT NEW-FORMED SKIN**

A.Z. Yafarov, N.A. Zheleznyak

Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg

The parameters of detection of malignant neoplasms of the skin are considered. The formalization of medical criteria for the automation of neoplasms of the skin using a computer algorithm is proposed.

Key words: skin melanoma, nevus, neoplasm, analysis.

В современном мире самой распространенной причиной смертности среди неинфекционных заболеваний наряду с заболеваниями сердечно-сосудистой системы являются онкологические заболевания [1]. Одной из самых главных проблем диагностики онкологических заболеваний является своевременное обнаружение раковой опухоли. Носитель опухоли на ранних стадиях её развития не ощущает изменений в самочувствии, может вести

здоровый образ жизни и не подозревать о том, что в нем развивается опасное заболевание.

Одним из самых агрессивных заболеваний кожного покрова является меланома. Меланома — это злокачественное образование кожи, происходящее из меланоцитов, которые представляют собой пигментные клетки, расположенные в поверхностном слое кожи (эпидермисе) [2]. Важной отличительной чертой злокачественного новообразования кожи — меланомы является слабая ответная реакция или ее отсутствие. Вследствие этого меланома прогрессирует незаметно, не вызывая у человека даже мысли о том, что его организм страдает и болен серьезным заболеванием. Диагностировать самостоятельно ее можно лишь просматривая кожные покровы на наличие пигментных образований — невусов на теле.

Главными признаками развития злокачественного новообразования — меланомы кожи являются стремительный рост невуса, черный или темно-коричневый окрас и асимметрия новообразования. Именно эти три признака являются основополагающими при выявлении злокачественного новообразования кожного покрова.

На сегодняшний день существует довольно много способов выявления меланомы, например: биопсия новообразования, различные скрининговые исследования и дерматоскопия. Данные исследования, как правило, проводятся опытными врачами дерматологами или онкологами, но не всегда на ранних стадиях удается распознать меланому, важно систематическое наблюдение и биопсия невуса. Особенностью применяемых в настоящее время врачебных методик является то, что они являются неавтоматизированными методиками диагностики по ряду визуально регистрируемых критериев. Результат используемых врачебных методик существенно зависит от навыков и опыта конкретного врача-специалиста, его способности видеть относительно небольшие изменения цвета и геометрических параметров обнаруженных новообразований кожного покрова. На сегодняшний день существует достаточно много автоматизированных систем для быстрого принятия решений, но, к сожалению, в рассматриваемой области данных систем нет, поэтому в качестве основной задачи исследования была выделена автоматизация и быстрый анализ параметров, отображающих развитие меланомы кожи, которые позволят оперативно принять решение врачу-специалисту.

Для диагностики меланомы кожи была разработана система «ABCDE» [3], на которую опираются многие медицинские представители, данная система подразумевает под собой алгоритм пошагового осмотра невуса. А также существует достаточно много признаков и параметров, по которым врач может заподозрить развитие опасного заболевания кожного покрова. В результате анализа ряда литературных источников о развитии меланомы кожи, а также в ходе обсуждений используемых методик выявления с практикующими врачами-онкологами были выявлены наиболее существенные параметры новообразований, которые будут подвергнуты

автоматизированному анализу:

- Диаметр невуса. Установлено, что злокачественное новообразование больше 6 миллиметров. Данный параметр позволит установить фактический размер невуса.

- Асимметрия невуса. Для выявления асимметрии образования оно делится двумя перпендикулярными линиями, длины данных линий должны быть равны при доброкачественном новообразовании. Асимметрия позволит определить горизонтальный и вертикальный рост невуса над окружающими тканями, а также изъязвление эпидермиса над невусом и появление мелких точечных узелков на поверхности невуса.

- Окраска. Доброкачественное новообразование, как правило, имеет коричневый оттенок по всему невусу, злокачественное – разные оттенки в разных частях невуса от светло-коричневого до черного. Окрас невуса позволит определить возникновение дочерних пигментированных или розоватых образований (сателлитов) в коже вокруг невуса, исчезновение кожного рисунка на поверхности невуса, воспаление в области невуса и в окружающих его тканях, выпадение волосного покрова на поверхности невуса, кровоточивость с поверхности невуса.

Анализ врачебной методики выявления новообразований позволяет выделить и формализовать характерные признаки новообразований кожного покрова, которые позволили бы разработать автоматизированную методику анализа новообразований кожного покрова. Было выявлено, что основные параметры новообразований, влияющие на принятие диагностического решения, могут быть проанализированы с помощью инструментальных средств как медицинское изображение в виде фотоснимка, полученного в строго регламентированных условиях освещения и дистанции до новообразований. Далее параметры новообразований могут быть проанализированы на ЭВМ с использованием специального программного обеспечения, реализующего методику анализа новообразований по геометрическим параметрам, а также преобладающего цвета новообразований. При этом для сохранения свободы интерпретации врачом-специалистом предполагается выявление характера новообразования в процентном соотношении меланома-невус, где меланома – злокачественное новообразование кожного покрова человека, невус – доброкачественное.

Разрабатываемая методика позволит автоматизировать процесс принятия решения врача-специалиста как при личной консультации пациента с использованием неинвазивных методов диагностики, так и при использовании телемедицинских сетей с условием соблюдения правил, регламентирующих использование изображения в необходимом качестве и формате. Пациент сможет самостоятельно сформировать изображение невуса согласно инструкции по получению изображения и отправить его консультирующему врачу для предварительного анализа развития новообразования. Разрабатываемая методика позволит врачу установить точные параметры новообразования, а также сформулирует возможный

характер невуса, вследствие которого врач может сформировать дальнейший план лечения. При дальнейшей диагностике новообразования возможно установить рост развития новообразования, так как методика является универсальным средством, позволяющим установить разницу между параметрами во времени.

Методика автоматизации выявления и анализа злокачественных новообразований кожного покрова позволит расширить способы выявления злокачественных новообразований кожного покрова на ранних стадиях развития с использованием электронно-вычислительных комплексов, а также позволит оценить характер новообразования в процентном соотношении меланома\невус, где невус – доброкачественное новообразование кожного покрова, а меланома – злокачественный. Полученный результат будет иметь рекомендательный характер.

Графическое отображение автоматизированной методики анализа новообразований кожного покрова представлено на рисунке 1.



Рис. 1 –Графическое отображение автоматизированной методики анализа новообразований кожного покрова

Разрабатываемая методика позволит специалисту определить характер новообразования с помощью программно-вычислительного комплекса. Предложенную методику возможно реализовать при помощи многих пакетов прикладных программ или программных кодов, благодаря удобству анализа данных был выбран пакет прикладных программ MATLAB, в котором удалось создать реализовать алгоритм автоматизированной методики анализа новообразований кожного покрова – рисунок 2.



Рис. 2 – Описание работы программно-алгоритмического средства, реализующего методику

Результатом реализации методики в виде специального программного обеспечения является вывод гистограммы о возможном характере новообразования на теле человека в процентном соотношении меланома-невус. Невус характеризует доброкачественное новообразование, которое не представляет опасности и необходимости в срочной консультации со специалистом, меланома представляет собой злокачественное

новообразование, которое важно показать врачу дерматологу или онкологу для точного установления диагноза с последующим обследованием новообразования [3]. Методика учитывает три важных параметра при выводе гистограммы, соответствующих характеру новообразования.

При разработке данного алгоритма учитывались важные аспекты, которые должны существенно облегчить и автоматизировать процесс принятия решения медицинского специалиста, а также создать условия для вывода наиболее точного результата:

- Изображение должно подходить под определенные требования, в противном случае программно-алгоритмическое средство, реализующее методику, будет иметь ошибку вычисления.

- Программно-алгоритмическое средство должно подстраиваться под алгоритм принятия решения врача: необходимо создать возможность как автоматизированного определения параметров, так и ручного.

- Выделенные параметры новообразования на изображении должны сохраняться при первичной разметке в отдельных файлах, необходимо обновлять файл при внесении изменений, а также сохраненные параметры должны использоваться при вторичной разметке, автоматически подгружаясь при использовании данного изображения повторно.

- Гистограмма должна изменяться в зависимости от изменения параметров новообразования.

Важно обратить внимание, что предлагаемая методика должна позволить оптимизировать принятие решения врача, стать удобным инструментом для полуавтоматического анализа основных параметров новообразований кожного покрова, а также позволять врачу-специалисту ручное изменение интересующих его параметров. Вывод результата методики будет иметь строго рекомендательный характер, точный диагноз о развитии новообразования может поставить только врач. Данная методика позволит врачу повысить скорость принятия решения о дальнейшем обследовании новообразования, освободит от измерения параметров новообразования вручную, а также позволит осуществлять сравнительный анализ изображений новообразований и оценивать динамику их параметров во времени.

Библиографический список

1. Каприн А.Д. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность). Под редакцией А. Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой Москва 2019
2. Клиническая диагностика доброкачественных и злокачественных новообразований кожи Учебно-методическое пособие для врачей Москва 2019
3. Хэбиф Т.П. Кожные болезни: Диагностика и лечение / Пер. с англ. / Под общ. Ред. Акад. РАМН, проф. А.А.Кубановой. — М.: МЕДпресс-информ, — 2006.

УДК 615.471:617.7

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПРАКТИК ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ И ДЫХАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

И.С. Доржиева, А.З. Яфаров

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

Представлена авторская методика оценки эффективности релаксационных дыхательных практик по показателям деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем, позволяющая оценить эффективность той или иной дыхательной практики для обследуемого человека.

Ключевые слова: дыхательная практика, артериальное давление, частота сердечных сокращений, индекс напряжения.

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ASSESSING THE
EFFICIENCY OF RESPIRATORY PRACTICES BY THE INDICATORS
OF THE ACTIVITY OF THE CARDIOVASCULAR AND RESPIRATORY
SYSTEMS**

I. S. Dorzhieva, A. Z. Yafarov

Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg

The author's method for evaluating the effectiveness of relaxation breathing practices based on indicators of the activity of the cardiovascular and respiratory systems is presented, which makes it possible to evaluate the effectiveness of a particular respiratory practice for the person being examined.

Key words: Breathing practice, blood pressure, heart frequency, stress index.

Существует множество дыхательных практик, но трудно оценить их эффективность, поскольку эффект оценивается через субъективные ощущения и переживания, которые сложно формализовать и анализировать [1]. Делается предположение, что одновременная регистрация показателей деятельности сердечно-сосудистой и дыхательных систем позволит объективизировать критерии подбора [2] той или иной дыхательной практики, выбрать лучшую дыхательную практику для конкретного человека. Также открывается возможность на базе лечебного учреждения проводить дыхательные практики и оценивать их эффективность и качество выполнения медицинского назначения конкретным пациентом.

Предлагается методика оценки эффективности дыхательных практик, в которой каждая дыхательная практика сопровождается регистрацией параметров сердечно-сосудистой и дыхательных систем, что при последующей обработке должно позволить выявить объективные критерии сопоставления анализируемых дыхательных практик и их применимость для конкретного человека [3]. Разрабатываемая методика включает в себя два

алгоритма: алгоритм предъявления визуальных стимулов испытуемым и алгоритм обработки полученных данных. Выполнение дыхательной практики требует либо внешнего контроля специалиста, либо большого самоконтроля. Сделать выполнение дыхательной практики более надёжным по реализации этапов и комфортным для человека реализующего дыхательную практику можно автоматизацией прохождения этапов дыхательной практики, нужно специальное программное обеспечение (СПО) с возможностью выбора того или иного сценария дыхательной практики. Нужно демонстрировать этапы практики на экране персонального компьютера (ПК) в контролируемых условиях, обеспечивающих минимизацию влияния иных факторов внешней среды. Для реализации дыхательной практики необходимо предъявление визуальных стимулов в виде простых и легких для интерпретации надписей, являющихся инструкциями по дыханию. Для удобства испытуемых каждая надпись должна сопровождаться таймером обратного отсчета в секундах, чтобы каждый испытуемый понимал, как долго ещё предстоит делать вдох или выдох, или задерживать дыхание.

Для регистрации параметров сердечно-сосудистой и дыхательных систем нужен способ, не искажающий или минимально искажающий естественные параметры этих систем. Предполагается, что исследование с непрерывной записью необходимых показателей, позволит произвести наиболее точную оценку эффективности влияния релаксирующих дыхательных практик на показатели деятельности сердечно-сосудистой системы. Показатели будут считываться при помощи комплекса «Спироартериокардиограф» (САКР). САКР позволяет регистрировать частоту сердечных сокращений, R-R интервалы, артериальное кровяное давление с последующим усреднением этих показателей на каждый дыхательный цикл, а частота дыхания и дыхательный объем регистрируются для каждого дыхательного цикла. Измеряемые критерии являются общепризнанными для задач кардиологии. Однако только с помощью САКР представляется возможным определить ряд этих показателей на каждом сердечном сокращении [4].

Для анализа полученных данных необходимо построить графики дыхательной кривой, частоты сердечных сокращений (ЧСС), RR-интервалов, систолического артериального давления (САД), диастолического артериального давления (ДАД), пульсового давления (ПД) от времени на всей длительности данных. Затем разбить их на двухминутные интервалы и построить подобно скатерограммам RR-интервалов скатерограммы ПД от САД, а также гистограмму RR-интервалов на каждом двухминутном интервале. По графикам будут вычислены такие показатели, как индекс напряжения Р.М. Бавского, средние и максимальные значения САД. Планируется соотносить данные показатели начального этапа эксперимента с показателями на заключительном этапе. Это позволит оценить насколько изменились данные показатели с течением времени выполнения релаксационной дыхательной практики, иными словами оценить её эффективность на показатели деятельности сердечно-сосудистой системы.

Также будет вычислена частота дыхания для оценки качества соблюдения испытуемыми инструкций. Для сравнения записей эксперимента с разных испытуемых и получения автоматизированного расчета критериев было разработано специальное программное обеспечение. Его задачами являются: чтение файлов, полученных с аппарата САКР, и извлечение из них данных биологических сигналов, разбиение этих данных на двухминутные интервалы и визуализация этих данных в виде графиков, диаграмм рассеивания и гистограмм, а также подсчет статистических показателей для удобства работы исследователя.

Для оценки эффективности дыхательной практики планируется собрать данные биологических сигналов с испытуемых до начала выполнения дыхательной практики в течение двух минут, именно столько времени требуется манжете для накачивания и спуска воздуха во время измерения АД по методу Короткова. Это позволит оценить состояние показателей деятельности сердечно-сосудистой системы до выполнения дыхательной практики. Однако это не единственная регистрация сигналов значимых параметров, в течение всего выполнения дыхательной практики так же будут собраны данные биологических сигналов, что позволит оценить динамику влияния дыхательной практики на показатели деятельности сердечно-сосудистой системы.

Для проверки эффективности предложенной методики на практике необходимо проведение контролируемого эксперимента на группе испытуемых. Подобный эксперимент позволит выявить индивидуальные особенности выполнения дыхательной практики и оценить насколько точно испытуемый следует рекомендациям по дыханию при проведении самой дыхательной практики.

Библиографический список

1. Горелов А. А. Дыхательные упражнения как фактор улучшения состояния здоровья студентов с заболеваниями органов дыхания / А. А. Горелов, О. Г. Румба, Е. Н. Копейкина // Ученые записки. – 2008. - №11. – С. 21-25.
2. Дони́на Ж. А. Межсистемные взаимоотношения дыхания и кровообращения // Физиология человека. – 2011. - №2. – С. 117-128.
3. Лукьянов Г. Н. Экспериментальные исследования взаимодействия процессов дыхания и сердцебиения / Г. Н. Лукьянов, А. А. Воронин // Биотехносфера. – 2011. - №5. – С. 18-22.
4. Официальный сайт института кардиологической техники Инкарт. URL: <https://www.incart.ru/production/sakr-i/> (Дата обращения: 28.04.2022)

УДК 615.471:617.7

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ
АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СТРЕСС-
ИНДУЦИРОВАННОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ**

Д.С. Дашкевич, А.З. Яфаров

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург

Представлена авторская методика анализа динамики артериального давления для выявления стресс-индуцированной гипертонии.

Ключевые слова: *стресс-индуцированная гипертония, профотбор, оценка деятельности сердечно-сосудистой системы, влияние стресса на деятельность сердечно-сосудистой системы.*

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ANALYSIS OF ARTERIAL
PRESSURE DYNAMICS TO DETECT STRESS-INDUCED
HYPERTENSION**

D.S. Dashkevich, A.Z. Yafarov

Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg

The author's method for determining stress-induced hypertension being examined.

Key words: *stress-induced hypertension, professional selection, evaluation of the activity of the cardiovascular system, the effect of stress on the activity of the cardiovascular system.*

Стресс-индуцированная гипертония в отличие от гипертонической болезни имеет ярко выраженную причинно-следственную связь с различными стрессовыми воздействиями (СВ), имеющими индивидуальный характер, и в их отсутствии не проявляется и носит при этом скрытый характер. Развитие современных технических средств, позволяющих осуществлять длительный мониторинг параметров сердечно-сосудистой системы (ССС) и артериального давления (АД) в частности обеспечивает возможность формирования подходов к выявлению скрытой формы гипертонии путём создания контролируемых СВ во время проведения мониторинга основных параметров деятельности ССС. Особую важность выявление стресс-индуцированной гипертонии имеет для профессионального отбора и профессионального контроля операторов ответственных служб, где велика цена ошибки вследствие так называемого «человеческого фактора».

Были рассмотрены методики исследования состояния ССС в медицинском компоненте профессионального отбора на должности, связанные с риском для жизни и большой ответственностью. Приводится сравнение четырёх неинвазивных методик оценки состояния сердечно-сосудистой деятельности, рассматриваемых как методики-аналоги выявления гипертонии при воздействии контролируемых стресс-факторов.

Таблица 1 – Методики-аналоги выявления гипертонии

Название аналога	Достоинства	Недостатки
Измерение ЭКГ и АД	- скорость проведения обследования	невозможность достоверно выявить стресс-индуцированную гипертонию
Холтеровское мониторирование ЭКГ и СМАД (суточное мониторирование артериального давления)	- возможность выявить те патологии, которые недоступны для выявления во время разовой регистрации ЭКГ и АД [1] - возможность выявить фактор, оказывающий влияние на изменение деятельности сердечно-сосудистой системы, основываясь на журнале, заполняемом испытуемым	- невозможность проследить изменение АД на этапах, длительность которых меньше, чем период регистрации СМАД
Велозргометр	- возможность выявить те патологии, которые недоступны для выявления во время разовой регистрации ЭКГ и АД [2]	- невозможность оценить реакцию на стрессовое воздействие эмоционального и психического характера
Разрабатываемая методика анализа артериального давления для выявления стресс-индуцированной гипертонии	- возможность выявления стресс-индуцированной гипертонии благодаря регистрации показателей во время воздействия стрессовыми факторами - возможность выявления скрытой коронарной недостаточности благодаря регистрации показателей во время физической активности	

Среди рассмотренных методик диагностики состояния ССС [3, 4, 5] при проведении медицинской части профотбора не была выявлена эффективная методика, направленная на распознавание стресс-индуцированной гипертонии. При обследовании другими методиками, данный вид гипертонии может быть не выявлен, так как он проявляется при наличии факторов стресса, которые переводят человека из работоспособного состояния сотрудника к нестабильному, имеющему скрытый внешний характер и характеризующийся высокой вероятностью появления ошибок при выполнении профессиональных обязанностей. Для решения проблемы выявления скрытой формы гипертонии под действием стресс-фактора предлагается разработка методики определения стресс-индуцированной гипертонии, состоящей из двух алгоритмов: алгоритма контролируемого СВ и алгоритма обработки результатов.

Требования к алгоритму СВ. Предполагается, что воздействие на кандидата при приеме на работу тем видом деятельности, который ему предстоит осуществлять, не должно вызывать стресс, являющийся причиной значительного повышения артериального давления. Поэтому необходимо формирование стрессового фактора, связанного с профессиональной деятельностью. При формировании методики задаётся основное требование, что СВ не должно наносить эмоциональный или физический вред испытуемому. Длительность СВ подбирается таким образом, чтобы была возможность зафиксировать наличие стресса, основываясь на показатели деятельности ССС и индексы оценки вариабельности сердечного ритма в частности. В зависимости от вида деятельности длительность СВ может значительно различаться. В случае монотонной деятельности без необходимости оперативного реагирования на неожиданное появление новой информации, длительность СВ может многократно превышать длительность СВ, представляющего динамическую профессиональную деятельность. Таким образом, для профотбора различных профессий необходим подбор длительности СВ, сопоставимой с длительностью СВ возникающих при выполнении трудовых обязанностей.

Для возможности сравнения показателей деятельности ССС, необходимы данные показателей её деятельности до СВ, в состоянии покоя. Длительность записи показателей до начала СВ должна быть достаточной для возможности обработки данных теми же методами, что и у СВ. В данном случае достаточным является регистрация в течение двух минут [6]. Сравнение позволит выявить изменение уровня стресса после начала СВ.

Требования к алгоритму анализа показателей деятельности ССС. Алгоритм должен определять наличие повышения артериального давления (АД) в том промежутке данных, соответствующему СВ. Для определения причинно-следственной связи между стрессом и повышением АД необходимо распознавание наличия стрессового отклика испытуемого при СВ. Уровень стресса определяется индексом напряжения (ИН), предложенного российским исследователем Р.М. Баевским.

Для анализа выбран показатель систолического артериального давления (САД), так как опытным путём на этапе предварительных исследований была установлена высокая корреляция между пульсовым давлением на каждый удар сердца и систолическим. Это говорит о том, что изменение пульсового давления в большей степени зависит от изменения САД, чем от диастолического артериального давления (ДАД). Для корреляционного анализа был выбран непараметрический коэффициент Спирмена, не требующий проверки нормальности закона распределения анализируемых данных. Опытным путем было выявлено, что при реализации длительного мониторинга АД с помощью САКР-И в двухминутных записях САД и АД количество отсчётов может достигать 360 на анализируемый интервал, поэтому для выбора сопоставимой величины коэффициента корреляции и оценки его значимости выбиралось табличное значение в 400 единиц, что является более строгим порогом принятия решения. При принятом уровне значимости 0,05 [7] и табличном объеме выборки в 400 единиц анализируемых значений критическое значение будет равно 0,098. Если коэффициент корреляции Спирмена будет превышать критическое значение, то считается, что такой коэффициент является статистически значимым.

В качестве СВ был сформирован специальный видеоролик, вызывающий умеренную стрессовую реакцию у ряда испытуемых добровольцев во время просмотра без отложенных стрессовых проявлений. Видеоролик способен в короткие сроки вызывать стрессовую реакцию и длительность СВ в данном случае не превышает 18 минут. Для обеспечения возможности оперативного выявления реакций длительность СВ должна быть кратна 2 минутам, для возможности сравнения двухминутных интервалов между собой. Перед началом демонстрации видеозаписи, для концентрации внимания испытуемого на монитор компьютера и записи показателей деятельности ССС в состоянии покоя в течение первых 2 минут происходит демонстрация эмоционально нейтрального видеоролика.

Данные показателей деятельности ССС, а именно: АД каждого сердечного сокращения (комбинация метода тонов Короткова и метода разгруженной артерии Пенъяза) и массив длительностей RR интервалов, проходят обработку по разработанным алгоритмам.

Алгоритм анализа показателей деятельности ССС начинается с нахождения ИН и количества ударов сердца (в процентах) с ударным САД превышающим 139 мм. рт. ст. на двухминутных интервалах исходных данных. В том случае, если, начиная со второго двухминутного интервала включительно, есть такой интервал, ИН которого минимум в 1.1 раза больше ИН первого двухминутного интервала, и обнаруживаются такие двухминутные интервалы, в которых САД ударное превышает 139 мм. рт. ст., испытуемому ставится оценка равная количеству таких двухминутных интервалов плюс один. Эта оценка тем выше, чем чаще проявляются эпизоды стресс-индуцированной гипертонии при таком контролируемом СВ.

В том случае, если на каждом двухминутном интервале отсутствуют

удары сердца, при которых САД превышает 139 мм. рт. ст., а также на интервалах, начиная со второго, существует ИН в 1.1 раза больше, чем ИН первого интервала, то такому испытуемому присваивается оценка 1, что говорит об отсутствии стресс-индуцированной гипертонии при таком контролируемом СВ при наличии стрессовой реакции.

В том случае, если в первом интервале есть превышение значения ударного САД 139 мм. рт. ст., определение природы возникновения гипертонии при помощи данной методики невозможно. Также определение природы возникновения гипертонии при помощи данной методики невозможно при условии повышения САД на текущем интервале со 2 по 10 выше 139 мм.рт.ст., если отсутствует такой ИН, который принадлежит интервалу, идущему ранее чем текущий.

Предложенная методика обладает рядом достоинств, предоставляет возможность выявления стресс-индуцированной гипертонии благодаря регистрации показателей во время СВ и возможность выявления скрытой коронарной недостаточности благодаря регистрации показателей во время физической активности и может рассматриваться как перспективное средство выявления стресс-индуцированной гипертонии при обеспечении длительного мониторинга параметров АД и других показателей деятельности ССС. Разработка методики выявления эпизодов гипертонии в ответ на контролируемое воздействие стресс-фактора основывается на разработке алгоритма воздействия и алгоритма анализа.

Библиографический список

1. Макаров Л. М. Национальные российские рекомендации по применению методики холтеровского мониторирования в клинической практике / Л. М. Макаров, В. Н. Комолятова, О. О. Куприянова // Российский кардиологический журнал. – 2014. – №2. – С. 6-62.
2. Тавровская Т. В. Велозергометрия. – СПб.: НЕО, 2007. – 138 с.
3. Тихоненко В. М. Достоинства метода короткова при мониторировании артериального давления // Вестник аритмологии. – 2005. – №40. – С. 36-38.
4. Аксерольд А. С. Холтеровское мониторирование ЭКГ: возможности, трудности, ошибки. – М.: Медицинское информационное агенство, 2016. – 208 с.
5. Плаксин А. В. Велозергометрия как метод определения эффективности гипотензивной терапии у больных гипертонической болезнью / А. В. Плаксин, К. С. Другова, А. А. Селивёрстов // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2005. - №4. – С. 340-341.
6. Кулаичев А. П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 408 с.
7. Jonathan A. C. Fact sifting: why do we not satisfy the statistical significance tests? / A. C. Jonathan, G. D. Smith // British Medical Journal. – 2001. – №31. – P. 226-322.

АНАЛИЗ ШУМОВОЙ ДОРОЖКИ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФА

В.Г. Андреев, Е.А. Жирков

ФГБОУ ВО «Рязанский радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина»,
г. Рязань

Один из методов оценки состояния здоровья человека, его сердечно-сосудистой системы — фотоплетизмография. В данной работе рассмотрено выявление момента разладки в показаниях, регистрируемых фотоплетизмографом.

Ключевые слова: фотоплетизмография, измерители пульса, разладка.

ANALYSE OF THE PHOTOPLETHYSMOGRAPH NOISE TRACK

V.G. Andrejev, E.A. Zhirkov

Ryazan State Radio Engineering University named by V.F. Utkin, Ryazan

Photoplethysmography is one of the methods of assessing the state of human health, its cardiovascular system. In this paper, the identification of the change point in the readings recorded by the photoplethysmograph is considered.

Keywords: photoplethysmography, pulse meters, disorder.

Введение. В настоящее время актуальным остаётся вопрос нахождения разладки двух случайных процессов. В плетизмографии [1, стр. 322 и 3, стр. 81] подобный случай имеет место быть тогда, когда устройство, измеряющее пульс [1, стр. 353], неплотно закреплено на пальце пациента, то есть наблюдается дребезг лазерного луча прибора, приводящий к случайным отклонениям принимаемого сигнала. В этом случае наблюдаемый случайный процесс (пульсовая кривая человека) является составным.

Пусть длительность наблюдения за пульсом пациента — это интервал времени от 0 до T , где T — конец наблюдения или общее время наблюдения. Тогда момент разладки (обозначается как θ) — это некоторый случайный момент, принадлежащий отрезку времени $[0; T]$. Априорно полагается, что момент θ разладки неизвестен и его надлежит оценить. Пусть до момента разладки θ наблюдается случайный гауссовский процесс $X_0(t)$ с математическим ожиданием (МО) m_x и дисперсией σ_0^2 , а после него — другой гауссовский процесс $X_1(t)$ с параметрами m_x и σ_1^2 .

Предположим, что постоянная составляющая наблюдаемого процесса нулевая, то есть $m_x = 0$ (процесс центрирован), тогда различие между $X_0(t)$ (данные до разладки) и $X_1(t)$ (данные после разладки) заключается в разнице их соответствующих дисперсий σ_0^2 и σ_1^2 , причём предполагается $\sigma_0^2 \ll \sigma_1^2$. Это возможно в том случае, когда уровень светового фона

фотоприёмника резко возрастает (прибор не плотно прилегает к пальцу пациента, и в какой-то момент времени происходит засветка приёмника от источника внешнего освещения). Дисперсия шума резко увеличивается.

Научная новизна. В работе рассматривается поиск разладки случайного гауссовского процесса, у которого скачком изменяется дисперсия, причём величина дисперсии до момента разладки σ_0^2 много меньше дисперсии процесса после разладки σ_1^2 , что является типичным для биомедицинской диагностики.

Цели, задачи, материалы и методы. Количество наблюдений, по которому принимается решение, есть число q — порядок цифрового фильтра (объём его памяти), в который непрерывно поступают данные с плетизмографа. Обычно, чтобы выдержать заданную точность измерений, величина q определяется из условия Крамера – Рао [4].

Постановка задачи — оценить момент разладки θ по ограниченной окном выборке (вырезке X_{cut} объёмом q из сходной выборки X). Для получения байесовской оценки величины θ момента разладки удобно предположить существование двух гипотез [2]:

- гипотеза H_0 : разладки в рассматриваемом фрагменте X_{cut} нет, процесс $X(t)$ сохраняет стационарность;
- гипотеза H_1 : разладка в X_{cut} есть, процесс $X(t)$ превращается в составной.

Алгоритм получения искомой оценки момента разладки выглядит следующим образом.

1. Задаются параметры распределения. Так как случайный процесс считается гауссовским (оценка производится по шумовой дорожке), функции условной плотности распределения вероятности (ФПРВ) принимают известный вид гауссовского закона [5]. Ранее было принято, что случайный процесс центрирован и его математическое ожидание принято нулевым. Дисперсия σ_0^2 заменяется своей оценкой, полученной по выборке X_0 в скользящем окне, либо априорной оценкой, полученной ранее в сходных условиях проведения эксперимента.

2. Решается уравнение правдоподобия [5]. На данном этапе определяется принадлежность выборки X_{cut} (часть выборки X , попавшей в окно длиной q отсчётов) распределению $W(X|H_0)$, то есть, выборка получена из процесса $X_0(t)$ и разладки нет. В противном случае, в окно попали отсчёты как из выборки до момента разладки X_0 , так и из выборки X_1 с резко возросшей дисперсией.

3. Вычисление оценки искомой величины. Если условия п. 2 алгоритма выполнены и зафиксирован факт наличия разладки в наблюдаемом процессе, то следующим шагом является количественная оценка момента разладки, которая зависит от соотношения дисперсий процессов до и после разладки и

может быть вычислена на основе фиксации момента превышения порога решающей функцией (например, функцией правдоподобия [5]).

Заключение. Подобный метод обнаружения разладки удобно применять при последовательном обнаружении, когда входные данные поступают на вход устройства первичной обработки друг за другом. Приведённый алгоритм отличается простотой реализации, так как для обнаружения разладки требуется анализировать сравнительно небольшой объём данных (в данном случае он соответствует порядку q скользящего окна). При этом следует учитывать то, что скорость поступления отсчётов сигнала от плетизмографа не должна превышать быстродействие вычислительной системы, принимающей решение о наличии либо об отсутствии разладки в наблюдаемой выборке. Отметим, что точность оценки параметра θ также связана с порядком q окна и, в отличие от быстродействия, возрастает с наращиванием q . Таким образом, для устойчивой работы предложенного метода анализа шумовой дорожки при заданном уровне ложных тревог, следует искать компромисс между скоростью вычислений и их точностью.

Библиографический список

1. Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы — Биомедсистемы-2018 [текст]: сб. тр. XXXI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 4-6 декабря 2018 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. — Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2018, 520 с., ил.
2. А.Н. Колмогоров, Ю.В. Прохоров, А.Н. Ширяев Вероятностно-статистические методы обнаружения спонтанно возникающих эффектов — Тр. МИАН СССР, 1988, том 182, 4 23.
3. Lorenzo Scalise Non Contact Heart Monitoring — Advances in lectrocardiograms — Methods and Analysis / edited by Richard Millis. — InTech, 2012, 390 с.
4. Неравенство Крамера-Рао — эффективность оценок [сайт] — URL: <https://tvims.nsu.ru/chernova/ms/lec/node28.html> (дата обращения 16.10.2022).
5. Статистическая теория радиотехнических систем: учеб. пособие / Д.И. Попов — Рязан. гос. радиотехн. ун-т., Рязань, 2014, 56 с.

УДК 004.021

КЛАССИФИКАЦИЯ ДАННЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ЛИНЕЙНОГО ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА

П.В. Сосунова, А.Н. Калиниченко, А.В. Рубинский
Санкт-Петербургский государственный университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург

Рассмотрено применение метода линейной дискриминантной функции для автоматической классификации сигналов ЭКГ, артериального давления и дыхания по признакам, рассчитанным по графику скаттерограммы. Произведён подбор наиболее статистически значимых параметров.

Ключевые слова: классификация, скаттерограмма, линейная дискриминантная функция.

CLASSIFICATION OF PHYSIOLOGICAL RESEARCH DATA USING LINEAR DISCRIMINANT ANALYSIS METHODS

P.V. Sosunova, A.N. Kalinichenko, A.V. Rubinskiy
Saint Petersburg Electrotechnical University ETU "LETI", Russia

The application of the linear discriminant function method for automatic classification of ECG, blood pressure and respiration signals based on features calculated from a scatterogram is considered. The most statistically significant parameters were selected.

Key words: classification, scatterogram, linear discriminant function.

На сегодняшний день, с учётом активного использования автоматически обрабатываемых данных исследований в области здравоохранения, растёт необходимость в создании новых алгоритмов обработки, анализа и классификации биологических сигналов и повышения качества уже разработанных.

Особенностью представленного исследования является совместный анализ геометрических параметров, рассчитанных по зарегистрированным одновременно записям сигналов ЭКГ, артериального давления и лёгочной вентиляции в режиме покоя пациента и под нагрузкой, в сравнении с достаточно большим количеством уже опубликованных примеров анализа только одного из перечисленных сигналов.

В работе было решено рассмотреть анализ эллипса скаттерограммы, по причине информативности его формы и расположения при обнаружении патологий. Целью работы является разработка надёжного алгоритма классификации данных на две группы – записи пациентов, страдающих обструкцией лёгких, и пациентов с рестрикцией лёгких, с использованием метода линейной дискриминантной функции (ЛДФ).

В ходе исследования рассчитывались следующие параметры:

- угол наклона «облака» скаттерограммы;
- длина «облака», равная длине большой полуоси эллипса;
- ширина «облака», равная длине малой полуоси эллипса;
- площадь «облака»;
- количество ММ-интервалов (Мах-Мах интервалов – расстояния между пиками на кривых сигналов, для ЭКГ – это расстояние между R-зубцами);
- величины самого короткого и самого длинного ММ-интервалов;
- разброс значений ММ-интервалов;
- медиана или среднее значение ММ-интервалов;
- мода ММ-интервалов;
- комплексная корреляционная мера (ККМ) [1];
- индекс Гузика (GI) – показатель асимметрии «облака» на скаттерограмме относительно линии идентичности [2].

Задача заключалась в поиске наиболее диагностически значимых из них и в исключении параметров, коррелирующих с другими и не несущих полезной информации. В работе использовались реальные записи пациентов, для которых осуществлялся одновременный съём сигналов сердечного ритма, артериального давления (систолического и диастолического) и дыхания в двух состояниях – в состоянии покоя (14 записей для каждого типа сигнала) и под нагрузкой с последовательно возрастающей интенсивностью (7 записей для каждого типа сигнала). При этом каждый пациент страдал либо обструкцией, либо рестрикцией лёгких. Длительность записей сигналов под нагрузкой 300 с и без нагрузки 120 с.

Перед применением ЛДФ необходимо убедиться, что исследуемая выборка распределяется по нормальному закону. Для этого использовалась функция среды программирования MATLAB chi2gof , в основе которой лежит проверка критерия согласия Пирсона [3]. Была выдвинута нулевая гипотеза: распределение генеральной совокупности X подчинено нормальному закону с вычисленными параметрами выборочного среднего и дисперсии, уровень значимости был принят 0,05. Результат проверки гипотезы был возвращен как 0 для всех выборок, что указывает на невозможность отвергнуть нулевую гипотезу.

Суть метода ЛДФ заключается в приведении данных к одномерному виду путём проекции точек обоих классов на прямую, определяемую положением весового вектора, и далее в поиске пороговой величины, по которой можно разделить два данных класса. В результате работы алгоритма были получены гистограммы разделения двух классов.

Наиболее наглядную картину показали диаграммы для записей диастолического давления с нагрузкой (рис. 1). Синие столбцы гистограммы – обструкция, красные – рестрикция. Далее для каждой группы сигналов происходило последовательное исключение признаков для выявления наиболее значимых.

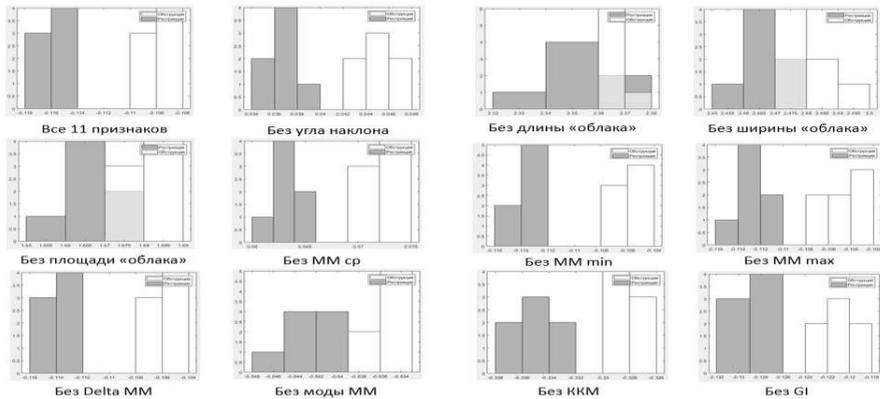


Рис. 1 – Разделение для сигналов диастолического давления при последовательном исключении признаков

Как видно из рис. 1, для сигналов диастолического давления наибольший вклад в разделение вносят длина, ширина и площадь эллипса, а наименьший MM_{min} , ΔMM , MM_{max} , MM_{cp} , KKM , GI . Установлено, что при одновременном исключении признаков угла наклона, MM_{cp} , MM_{min} , ΔMM , KKM и GI разделение можно провести без ошибки классификации.

Для систолического давления и ЭКГ картина схожая. Хуже всего разделение произошло для записей реопневмограммы, что может объясняться некачественными записями, помехами, связанными, в частности, с неплотным прилеганием электродов.

Использование метода ЛДФ для разделения сигналов на две группы показало хорошие результаты. Последовательное исключение количественно рассчитанных геометрических параметров скаттерограммы показало, что наибольший вклад в разделение вносят длина, ширина и площадь эллипса, тогда как роль признаков, связанных с величинами MM -интервалов (максимальный, минимальный, средний, мода) невелика. Классификация осуществлялась точнее на записях, снятых при воздействии физической нагрузки на пациента.

Библиографический список

1. Complex Correlation Measure: a novel descriptor for Poincaré plot / С.К Karmakar, А. Н Khandoker, J. Gubbi, et al. // Biomedicl Engineering Online. 2009, vol. 8 (№ 1). P. 8–17.
2. С.К Karmakar, А. Н Khandoker, М. Palaniswami. Heart Rate Asymmetry in Altered Parasympathetic Nervous System Activity // Computing in Cardiology. 2010, vol. 37. P. 601–604.
3. chi2gof. Chi-square goodness-of-fit test // The MathWorks. URL: <https://www.mathworks.com/help/stats/chi2gof.html> / (дата обращения: 18.10.2022).

УДК 681.78 (535-92)

**ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛИСТЬЕВ
НА ИХ ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ПРОЦЕССЕ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ РАСТЕНИЙ**

С.О. Пензева, М.В. Суханова, Л.А. Бондарева

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орёл

В работе представлены результаты экспериментального исследования изменения оптических свойств (в частности, зеркальной составляющей отраженного излучения) листьев растений в процессе их роста. Даны рекомендации по выбору объекта исследования при оценке функционального состояния всего растения.

Ключевые слова: отражение, зеркальная составляющая, листья, растения, возрастные изменения

**INFLUENCE OF AGE-RELATED CHANGES IN THE SURFACE OF
LEAVES ON THEIR OPTICAL CHARACTERISTICS IN THE PROCESS
OF FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF PLANTS**

S.O. Penzeva, M.V. Sukhanova, L.A. Bondareva,

Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol

The paper presents the results of an experimental study of changes in the optical properties (in particular, the mirror component of reflected radiation) of plant leaves in the process of their growth. About choosing the control place of the object of study when assessing the functional state of the entire plant were made recommendations.

Key words: reflection, mirror component, leaves, plants, age-related changes.

Развитие такого направления как функциональная диагностика растительных организмов связано с востребованностью технологий объективной оценки состояния растений как в сельском хозяйстве для контроля качества и эффективности агротехнических мероприятий, так и при проведении ботанического и экологического мониторинга. Применение методов функциональной диагностики в процессе оценки результатов агротехнических мероприятий позволяет учесть потребности растительных объектов, оптимизировать технологии их возделывания и сэкономить используемые ресурсы. Растение, таким образом, оказывается включенным в систему с обратной связью, а принятие всех управленческих решений ориентируется на параметры, измеренные в процессе диагностики самих растительных объектов, а не окружающей их среды.

Контроль влагообеспеченности растений является достаточно сложной задачей, и до сих пор не существует стандартных методик оценки потребности растительных объектов в воде. Разработка метода, позволяющего перейти от визуальной диагностики к инструментальной,

более чувствительной и объективной, предполагает возможность создания на его основе системы, собирающей получаемую информацию и корректирующей алгоритм управления участком, контроль которого был произведен.

Особенностью растительных объектов является наличие множества листовых пластин, расположенных по всему растению. Лист растения – это уникальная оптическая система, которая отличается сложной структурой и обладает способностью оптимально использовать солнечную энергию, поэтому изменение отраженного потока может быть достаточно эффективно использовано в диагностических целях. В нижней части растений расположены самые возрастные листья, а в верхней – наиболее молодые, при этом деревья и кустарники отличаются равномерным распределением листьев примерно одного возраста по всей кроне. Это важно учитывать при решении практической задачи выбора контрольного места, т.е. листьев, из нескольких, растущих рядом на одном растении, для проведения функциональной диагностики, так как стадия развития листа влияет на его оптические свойства.

Оценка влияния возрастных изменений на отражательные свойства листьев растений в данный момент проведена достаточно поверхностно и касается исследований смешанного отражения [1]. Поэтому целью экспериментального исследования было установление зависимости изменения, прежде всего, зеркальной составляющей отраженного излучения от стадии вегетационного периода в процессе роста растений и старения их листьев.

Первоочередность доставки влаги в разные по возрасту и расположению на стволе листья также имеет важное значение, т.к. вода в организме растений является основной внутри- и внеклеточной средой, в которой протекает обмен веществ. Наполненность листьев водой обеспечивает тургор – это напряжённое состояние клеточной оболочки, зависящее от осмотического давления внутриклеточной жидкости, проявляется он за счет упругости растительных тканей. При этом все процессы увядания и старения сопровождаются падением тургора, что и проявляется при регистрации отраженного от измененной поверхности излучения.

Отраженный от листовой пластины сигнал содержит две составляющие: диффузную и зеркальную [2]. Когда листовая пластина насыщена водой и обладает максимальным тургором, величина микронеровностей ее поверхности минимальна, что является причиной формирования максимального зеркального отражения. Потеря влаги растением приводит к увеличению микронеровностей [3], приводящему к спаду зеркальной составляющей и росту диффузной.

Объектами проводимого исследования выступали томаты сорта «Лентяйка» и перец сорта «Ласточка». Измерения проводились утром и вечером в комнатных условиях в течении мая-июня 2022 года. На момент начала исследования возраст томатов составлял 67 дней, а перца – 42 дня.

Визуальный контроль показывал хорошее состояние растений в течение всего эксперимента, что подчеркивается высоким уровнем зеркального коэффициента отражения (рисунок 1).

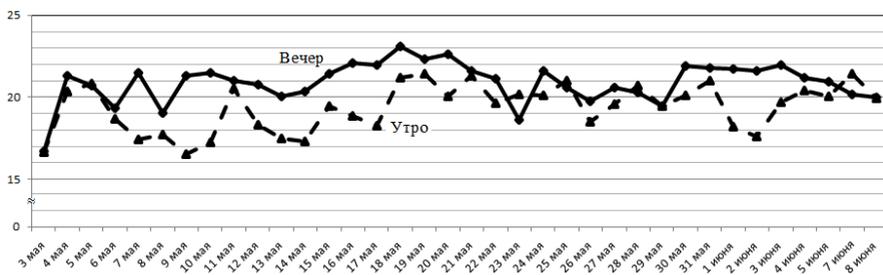


Рис. 1 – Изменение зеркальной составляющей отраженного излучения от листьев томатов сорта Лентяйка

Все результаты были поделены на две группы в соответствии со стадиями вегетационного развития: полученные в первые 18 дней эксперимента и в последующие 18 дней, т.е. в первой серии – более молодые растения, во второй – более возрастные. Полученные серии измерений были проверены на однородность. Несмотря на то, что визуально результаты кажутся очень похожими, значимость различий средних арифметических значений в результатах измерения зеркальной (а также и диффузной) составляющей оказалась значительной. Объединять подобные серии в один массив не следует, т.к. именно возрастные изменения, воздействуя на состояние поверхности биологических объектов, сделали значимо различными и результаты оценки ее отражательных свойств.

Проверка однородности в данном случае позволила выделить различия и математически доказать, что возрастные изменения, наблюдающиеся в процессе оптических измерений, даже при кажущейся их незначительности, оказывают серьезное влияние на результаты проводимого исследования и должны быть учтены при выборе листьев для оценки функционального состояния растения в целом. В связи с этим, целесообразно осуществлять выбор места контроля в процессе визуального осмотра растения для того, чтобы исключить возрастные и поврежденные листья. Рекомендовано при проведении функциональной диагностики использовать более молодые листья, расположенные в верхней части растения.

Библиографический список

1. Мерзляк М.Н., Гительсон А.А., Погосян С.И. и др. Спектры отражения листьев и плодов при нормальном развитии, старении и стрессе // Физиология растений. – 1997. – Т. 44/ 5. – С. 707-716.

2. Патент РФ №2719788 A01G 7/04, G01N 21/17. Способ оценки функционального состояния растений для определения их потребностей в воде / Л.А. Бондарева, М.В. Суханова – Опубл. 23.04.2020 г., Бюл. № 12.
3. Бондарева, Л.А. Исследование шероховатой поверхности листьев растений / Л.А. Бондарева, М.В. Суханова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 1. – С. 144-149.

УДК 504.064

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
«ДИАГРАММА ПАРЕТО» ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ**

М.В. Диброва

ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов

Рассмотрен и применён инструмент контроля качества «диаграмма Парето» для анализа экологического состояния объектов.

Ключевые слова: инструменты контроля качества, диаграмма Парето, экологическое состояние объектов.

**APPLICATION OF THE QUALITY CONTROL TOOL «PARETO
DIAGRAM» FOR ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL STATE OF
OBJECTS**

M.V. Dibrova

Saratov State University, Saratov

The quality control tool Pareto diagram for the analysis of the ecological state of objects is considered and applied.

Key words: quality control tools, Pareto diagram, ecological state of objects.

Инструменты контроля качества – это методы, которые направлены на решение количественной оценки параметров качества. Существует семь инструментов контроля качества: гистограмма, диаграмма Парето, контрольная карта, диаграмма разброса, стратификация, контрольный листок, диаграмма Исикавы (Ишикавы). Эти инструменты просты, наглядны и доступны для понимания полученных результатов, а также могут использоваться в любой сфере деятельности и на любом этапе жизненного цикла объекта [1].

Диаграмма Парето была предложена в 1897 году итальянским экономистом Вильфредо Парето для исследования неравномерности распределения доходов населения. Изначально использовавшийся в экономике, анализ Парето нашел широкое применение в других областях человеческой деятельности, в том числе в управлении качеством [2].

Принцип Парето, коротко можно сформулировать как «80 на 20». Другими словами, подавляющее число дефектов 80 % и связанных с ними потерь чаще всего возникает из-за небольшого количества причин 20% [3].

Диаграмма Парето представляет собой гистограмму, в которой столбики (интервалы) упорядочены по нисходящей линии. Они могут представлять виды дефектов, ошибки и т.д. Высотой столбиков являются частота возникновения дефектов, стоимость, время и т.д.

Покажем, что диаграмму Парето можно использовать для анализа экологического состояния объектов на примере водных объектов Краснодарского края. Для этого данные по количеству основных загрязняющих веществ выбранного объекта, указанные в официальном докладе «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2021 году» [4], расположим в таблице 1 в порядке убывания и выполним простейшие расчеты, необходимые для построения диаграммы Парето.

Таблица 1 – Основные загрязняющие вещества

Загрязняющие вещества	Количество (тонн)	Кумулятивная (накопленная) сумма	Кумулятивный (накопленный) процент (%)
хлорид-анионы	18889,016	18889,016	33,8
сульфат-анионы	17039,288	35928,3	64,3
нитрат-анионы	15821,086	51749,39	92,6
легкоокисляемые органические вещества	2402,065	54151,46	96,9
аммоний-ионы	825,688	54977,14	98,4
фосфаты	643,258	55620,4	99,6
нитрит-анионы	144,928	55765,33	99,8
железо общее	41,3	55806,63	99,9
нефть и нефтепродукты	17,275	55823,9	99,9
другое	7,94	55831,84	100

В таблице подсчитана кумулятивная (накопленная) сумма. Общая сумма принимается за 100% и подсчитывается накопленный процент. По оси абсцисс откладываются загрязняющие вещества (в порядке убывания), по оси ординат – количество содержащихся веществ в тоннах. Каждому загрязняющему веществу присваивается прямоугольник (столбик), вертикальная сторона соответствует значению количества содержания загрязняющего вещества (основания всех прямоугольников должны быть равны). Далее вычерчивается кривая кумулятивной суммы. На правой стороне графика по оси ординат откладываются значения кумулятивного процента (рис. 1).

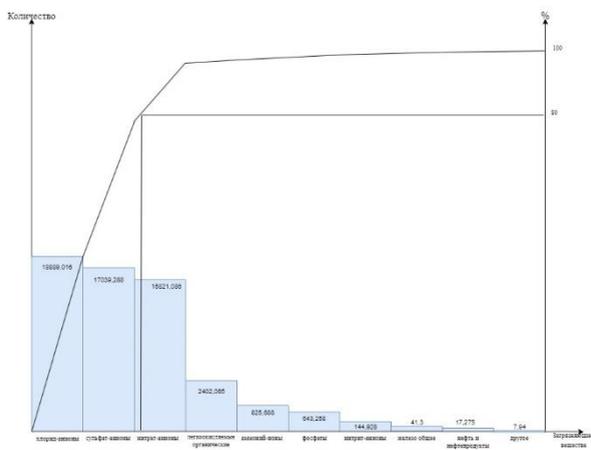


Рис. 1 – Диаграмма Парето

По итогам анализа данных получаем, что существенно важными загрязнителями являются: хлорид-анионы, сульфат-анионы, нитрат-анионы и для максимального улучшения качества водных объектов Краснодарского края необходимо сосредоточить усилия на устранении именно этих видов загрязнений.

Таким образом, показана возможность применения инструментов контроля качества для анализа экологических объектов и их параметров. В данном случае использовался такой инструмент, как диаграмма Парето, с помощью которой были определены наиболее существенные вещества, загрязняющие водные объекты Краснодарского края.

Библиографический список

1. Винокурова С.А. Об использовании средств и методов управления качеством в образовательной деятельности // Педагогическое взаимодействие: возможности и перспективы: материалы I науч.-практ. конф. с междунар. участием; Саратов. гос. мед. ун-т. – Саратов: Изд-во Саратов. гос. мед. ун-та, 2019. –С. 527-531.
2. Романцов Р.С., Черноситова Е.С. Диаграмма Парето как инструмент повышения качества и совершенствования технологического процесса производства цанги зажимной // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование. – 2017. – Т. 2. – С. 228-232.
3. Лажаунинкас Ю.В. Использование диаграммы Парето в анализе дефектов деталей // Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы. – 2020. – С. 129-134.
4. О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2021 году: доклад. – Краснодар, 2021 – 424 с.

УДК 621.317.616

УСТРОЙСТВО ОЦЕНКИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА РАДИОЛОКАЦИОННЫМ МЕТОДОМ НА ОСНОВЕ ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЫ AWR1642BOOST

А.А. Захаркин, Т.А. Витязева, С.В. Витязев, А.А. Михеев
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассматривается возможность анализа вариабельности сердечного ритма с применением радиолокационного датчика. Разрабатывается лабораторный макет на основе модуля AWR1642boost, позволяющий имитировать смещение грудной клетки при сердцебиении по заданному закону, регистрировать отражения радиолокационного сигнала и проводить их обработку с целью оценки вариабельности ритма сердца.

Ключевые слова: *вариабельность сердечного ритма, радар, AWR1642, лабораторный макет.*

DEVICE FOR HEART RATE VARIABILITY ESTIMATION WITH RADAR BASED ON AWR1642BOOST BOARD

A.A. Zakharkin, T.A. Vityazeva, S.V. Vityazev, A.A. Mikheev
Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The possibility of analyzing heart rate variability using a radar sensor is being considered. A laboratory model is being developed based on the AWR1642boost module, which allows simulating chest displacement during heartbeat according to a given law, registering radar signal reflections and processing them in order to assess heart rate variability.

Key words: *heart rate variability, radar, AWR1642, radar testbed.*

Вариабельность сердечного ритма (ВСР) является важным диагностическим параметром, способным нести информацию не только о функционировании сердечно-сосудистой системы организма, но и о психоэмоциональном состоянии человека, способности организма адаптироваться к внешним воздействиям. Анализу ВСР в последние десятилетия посвящается большое число научных работ [1]. При этом выделяются работы, которые рассматривают возможность вести оценку ВСР альтернативными по отношению к электрокардиограммному (ЭКГ) методу, например, с помощью оптических или радиолокационных датчиков [2].

Миниатюризация и доступность радиолокационных средств зондирования, проявляющиеся в последнее время, привели к использованию данного типа датчиков в широком ряде коммерческих решений, бытовых приборах, в том числе, устройствах персональной медицины. Радиолокационные датчики дают возможность бесконтактной оценки параметров жизнедеятельности человека, способны работать вне зависимости

от освещенности, «видят» на относительно больших расстояниях.

В работе [2] предложен алгоритм оценки ВСП по радиолокационному сигналу на основе спектрального анализа в скользящем окне. Показана работоспособность предложенного алгоритма. Используется радиолокатор с несущей частотой 2,4 ГГц. Приводятся результаты моделирования и натуральных экспериментов. Подчеркивается устойчивость и точность разработанного алгоритма.

В рамках данной работы проводится исследование эффективности предложенного в [2] алгоритма при использовании радиолокационного датчика с другой длиной волны, а именно, платы AWR1642boost, характеризующейся несущей частотой 77 ГГц [3].

Алгоритм обработки [2] включает этапы фильтрации, автокорреляции для усиления полезных узкополосных компонент на фоне шума, преобразования Фурье, выделения компоненты сердцебиения в спектре сигнала, обратного преобразования Фурье и расчета угла наклона фазовой характеристики.



Рис. 1 – Лабораторный макет радиолокационного анализа ВСП

Описанный алгоритм был реализован при обработке реального сигнала, зарегистрированного с помощью специально разработанного макета. Лабораторный макет (Рис. 1) состоит из модуля AWR1642boost, имитатора цели и платы управления имитатором. Модуль AWR1642boost содержит антенну, приемопередающий тракт, аналого-цифровой преобразователь и процессор предварительной обработки. Имитатор цели представляет собой металлическую вертикально закрепленную пластину, перемещающуюся по винтовой направляющей, приводимой в движение шаговым двигателем с управляемым законом вращения ротора. Плата управления имитатором подключается к персональному компьютеру (ПК) и с помощью программы, установленной на ПК, задает закон перемещения имитатора.

Был проведен следующий эксперимент. На ПК сформирован закон управления имитатором, включающий периодическое колебание и дополнительную вариацию периода основного колебания по синусоидальному закону. Основное колебание имитирует сердцебиение с постоянной частотой, соответствующей номинальной частоте сердечных

сокращений (ЧСС). Дополнительное колебание задает закон ВСП. Выбраны следующие параметры. Частота основного колебания 75 ударов в минуту или 1,25 Гц; частота дополнительного колебания 0.004 Гц; амплитуда дополнительного колебания – 6 ударов в минуту. Это означает, что ритм сердца за интервал наблюдения меняется в диапазоне 75 ± 6 ударов в минуту по синусоидальному закону с периодом 250 секунд.

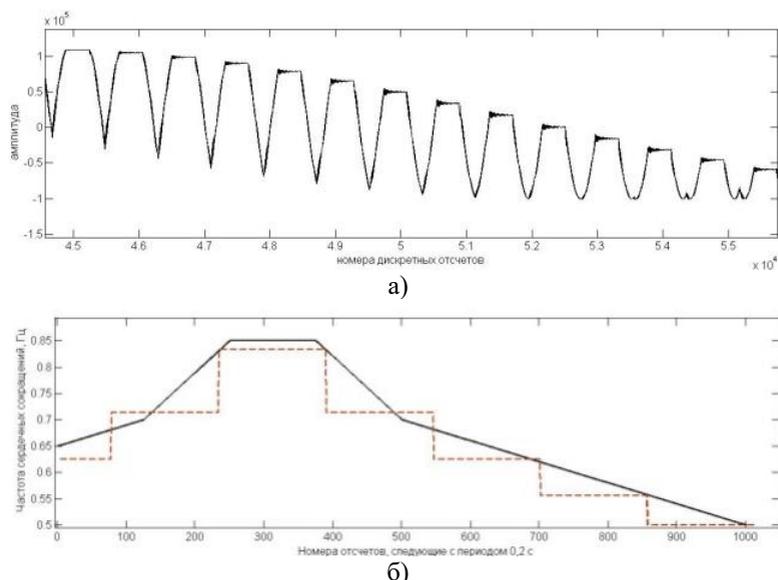


Рис. 2 – Результаты обработки: регистрируемый сигнал (а); заданный закон ВСП и его оценка (б)

При подаче сформированного закона управления на макет вертикальная пластина начинает перемещаться назад-вперед, имитируя сердцебиение. Плата AWR1642boost запускается на излучение и прием сигнала, который она регистрирует и записывает в файл на жесткий диск ПК. После записи данные обрабатываются специально разработанной для этого программой в соответствии с вышеописанным алгоритмом. Методами цифровой обработки сигнала восстанавливается закон ВСП, заданный на этапе формирования сигнала управления имитатором.

На Рис. 2а показан регистрируемый сигнал. Периодические всплески соответствуют вибрациям пластины. На Рис. 2б показан вид задаваемого сигнала ВСП и его оценка, формируемая в результате обработки.

Таким образом, в работе проведено исследование радиолокационного анализа ВСП с использованием лабораторного макета. Выявлены возможности и ограничения указанного метода.

Библиографический список

1. Баевский Р. М. Математический анализ изменения сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. И. Кириллов, С. З. Клецкин. М.: Наука, 1984. 221.
2. Mehrdad Nosrati, Negar Tavassolian. High-Accuracy Heart Rate Variability Monitoring Using Doppler Radar Based on Gaussian Pulse Train Modeling and FTFR Algorithm // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Volume: 66, Issue: 1, January 2018.
3. AWR1642 Evaluation Module (AWR1642BOOST) Single-Chip mmWave Sensing Solution. User's Guide. Texas Instruments. 2017.

УДК 519.257

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ПРОФИЛЬНЫХ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ В РОССИИ НА МАТЕРИНСКУЮ СМЕРТНОСТЬ

А.А. Гребенщикова

Научный руководитель – Заворотный А.А., канд. физ.-мат. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк

*В данной работе исследовано влияние числа профильных медучреждений на материнскую смертность. На основе статистических методов выявлено, что распределение имеет нормальный вид, зависимость между исследуемыми величинами по шкале Чеддока классифицируется как высокая. **Ключевые слова:** материнская смертность, статистический анализ, программное обеспечение для статистического анализа, нормальное распределение.*

STATISTICAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE NUMBER OF PROFESSIONAL MEDICAL INSTITUTIONS IN RUSSIA ON MATERNAL MORTALITY

A.A. Grebenshchikova

Scientific director – Zavorotni A.A., PhD (Physics and Math), docent
Lipetsk State Technical University, Lipetsk

This article examines the impact of the number of specialized medical institutions on maternal mortality. On the basis of statistical methods, it was revealed that the distribution has a normal form, the relationship between the studied values according to the Chaddock scale is classified as high.

Key words: maternal mortality, statistical analysis, software for statistical analysis, normal distribution.

На основании анализа данных Росстата было выявлено, что, хотя за последнее десятилетие смертность при родах и от послеродовых осложнений значительно сократилась, в 2020 году был зафиксирован рост материнской смертности [1]. Анализ специальных периодических изданий показал, что

данной проблеме в современных научных исследованиях не уделяется достаточного внимания. Есть основания полагать, что одним из факторов, оказывающих значительное влияние на качество медицинской помощи беременным, роженицам и родильницам, – следовательно, и на материнскую смертность – является число действующих профильных медицинских учреждений (женских консультаций, родильных домов и т.д.). Исходя из этого, была поставлена цель: исследовать с помощью методов математической статистики существует ли зависимость материнской смертности от количества профильных медучреждений в России.

В качестве входных были использованы статистические данные (таблица 1) за 2001-2020 гг., а именно: материнская смертность и число медучреждений [1-3].

Таблица 1

Год	Материнская смертность, <i>чел.</i>	Число профильных медучреждений, <i>тыс.</i>
2001	354	11,5
2002	354	11,7
2003	388	11,7
2004	350	13,5
2005	196	14,3
2006	370	15,0
2007	352	15,2
2008	469	15,3
2009	463	15,3
2010	479	15,9
2011	291	16,3
2012	295	17,0
2013	188	17,4
2014	215	17,8
2015	210	17,8
2016	149	18,1
2017	219	18,4
2018	146	19,1
2019	134	20,0
2020	161	20,9

Для проведения статистического анализа был выбран программный статистический пакет *STATISTICA 12*, который позволяет проводить научные исследования на должном уровне.

Анализ данных, полученных с помощью функции *Descriptive statistics* (Описательная статистика), на соответствие показателей смертности нормальному закону с применением характеристик положения, рассеяния и формы показал, что распределение близко к нормальному (кривой Гаусса):

а) Выборочные среднее, медиана и мода близки друг к другу: $\bar{x} = 290$ чел., $Me(X) = 293$ чел., $Mo(X) = 354$ чел.;

б) Асимметрия и эксцесс близки к нулю, показывают небольшое смещение пика графика влево и его незначительную плосковершинность: $A = 0,23$, $Ex = -1,24$;

в) «Правило трех сигм» выполняется – вероятность попадания значений случайной величины X в интервал трех стандартных отклонений ($S = 114$ чел.): $P(\bar{x} - 3S \leq X \leq \bar{x} + 3S) \approx 99,76\%$ [4].

Результаты анализа были подтверждены вычислением критериев нормальности с помощью функции *Basic statistics* (Основные статистики):

а) Критерий Колмогорова-Смирнова $d = 0,181$, $P > 0,2$, что показывает статистическую значимость полученного результата ($P > 0,05$);

б) Критерий Шапиро-Уилка $W = 0,919$, что больше критического значения $W_{кр} = 0,905$ (для $n = 20$, $\alpha = 0,05$), $P = 0,09$ ($P > 0,05$) [5].

После установления того факта, что исследуемое распределение близко к нормальному закону, было проведено выравнивание вариационного ряда с использованием кривой нормального распределения (рис. 1) [4].

Результат выравнивания статистической значимости расхождений между теоретической кривой и эмпирическим распределением по χ^2 -критерию показал, что они имеют случайный характер, так как $\chi^2 = 4525,7$, что больше критического значения, равного 31,4 [5]. Однако из графика на рис. 1 видно, что при числе медучреждений менее 14 тыс. наблюдается стойкое повышение уровня смертности, отклоняющееся от нормальной кривой, следовательно, исследуемый фактор оказывает на данном интервале значительное негативное влияние на качество медицинской помощи женщинам. Данное отклонение на графике приходится на временной период 2001-2004 гг., что может объясняться помимо других (неконтролируемых) факторов еще и неблагоприятной социально-экономической обстановкой внутри страны.

Для оценки силы взаимовлияния исследуемых показателей, было вычислено корреляционное отношение: $\eta = 0,865$, что согласно шкале Чеддока показывает наличие высокой связи между материнской смертностью и количеством профильных медицинских учреждений [4]. Таким образом, более 80% случаев смертей можно объяснить нехваткой квалифицированной медицинской помощи.

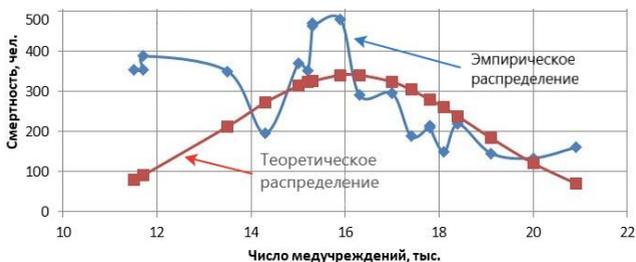


Рис. 1 – Выравнивание вариационного ряда

Анализ результатов проведенного исследования не включает экстрагенитальные заболевания и проведен без разделения по конкретным осложнениям родов и послеродового периода, что сказывается на значимости рассчитанных критериев. Тем не менее, на основании полученных результатов с достаточной уверенностью можно утверждать, что материнская смертность зависит от числа действующих профильных медучреждений.

Разброс данных на рассмотренном графике требует дополнительных исследований с целью выявления прочих факторов материнской смертности и путей их устранения, что предполагается сделать в дальнейшем.

Библиографический список

1. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://rosstat.gov.ru> (https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/demo23_2021.xls) (дата обращения 23.10.2022). – Текст: электронный.
2. БГД – Российский статистический ежегодник 2010 – Медицинская помощь женщинам и детям. – Москва. – URL: https://gks.ru/bgd/regl/b10_13/IssWWW.exe/Stg/d2/08-10.htm (дата обращения 23.10.2022). – Текст: электронный.
3. Российский статистический ежегодник 2021. – М.: РОССТАТ, 2021. – 696 с.
4. Громыко, Г.Л. Теория статистики: практикум / Г.Л. Громыко. – М.: Инфра-М, 2013. – 240 с.
5. Гашев, С.Н. Математические методы в биологии: анализ биологических данных в системе STATISTICA / С.Н. Гашев, Ф.Х. Бетляева, М.Ю. Лупинос. – М.: Юрайт, 2019. – 208 с.

УДК 004.946

3D АГРЕГАТОР МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ И МЕДИКОВ

Д.А. Бородин, А.В. Пушкарева

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»,
г. Пенза

Показаны возможности использования современных информационных технологий 3D-визуализации и виртуальной реальности для повышения качества процесса обучения инженеров и медиков. Описаны этапы создания обучающего агрегатора медицинского оборудования.

Ключевые слова: 3D модель, медицинское оборудование, 3D-визуализация, виртуальная реальность.

3D MEDICAL EQUIPMENT AGGREGATOR FOR ENGINEERS AND DOCTORS

D.A. Borodin, A.V. Pushkareva
Penza State Technological University, Penza

The possibilities of using modern information technologies of 3D visualization and virtual reality to improve the quality of the training process for engineers and physicians are shown. The stages of creating a training aggregator of medical equipment are described.

Keywords: 3D model, medical equipment, 3D visualization, virtual reality.

Использование технологий виртуальной реальности становится перспективным направлением развития современного образования [1]. Эффективность различного рода приложений на основе технологий 3D-визуализации и виртуальной реальности зависит, прежде всего, от содержания и формы предоставляемого материала для изучения [2,3].

Особо остро вопрос внедрения информационных технологий в образовательный процесс стоит для инженеров медицинского оборудования [4]. Каждому специалисту в медико-технической сфере крайне важно обладать навыками наладки, ремонта и обслуживания медицинской техники. Качество образовательного процесса инженера медицинского оборудования может быть повышено путем разработки и применения 3D-агрегатора медицинского оборудования. Агрегатор позволит создавать реалистичную симуляцию работы медицинского оборудования, в которой обучающийся будет иметь возможность интерактивно взаимодействовать с выбранным оборудованием, изучать принцип его работы, получать описательную информацию об основных блоках, рассмотреть динамику работы оборудования, его основных режимов, построить медицинской кабинет согласно требованиям лицензирования.



Рис. 1 – Модель кабинета для проведения эндоскопии

Функциональные возможности агрегатора, включают в себя:

- возможность воссоздать реалистичные интерактивные модели медицинской аппаратуры в компьютерной среде, с возможностью применения технологии виртуальной реальности;
- возможности интерактивного взаимодействия с медицинским оборудованием на основе сценариев, разработанных исходя их информации об основных режимах работы с медицинским оборудованием;
- представление декомпозиции оборудования
- построение медицинских кабинетов согласно требованиям лицензирования.

Стадии технологического процесса разработки:

1. Разработка алгоритма работы обучающего агрегатора
2. Разработка интерактивных 3д моделей медицинской техники с возможностью их декомпозиции и интерактивного взаимодействия на основе обучающих сценариев
3. Разработка 3д моделей медицинских кабинетов, отвечающих требованиям лицензирования
4. Составление дополнительных обучающих материалов. Этапы разработки агрегатора на основе эндоскопа представлены на рис.2.

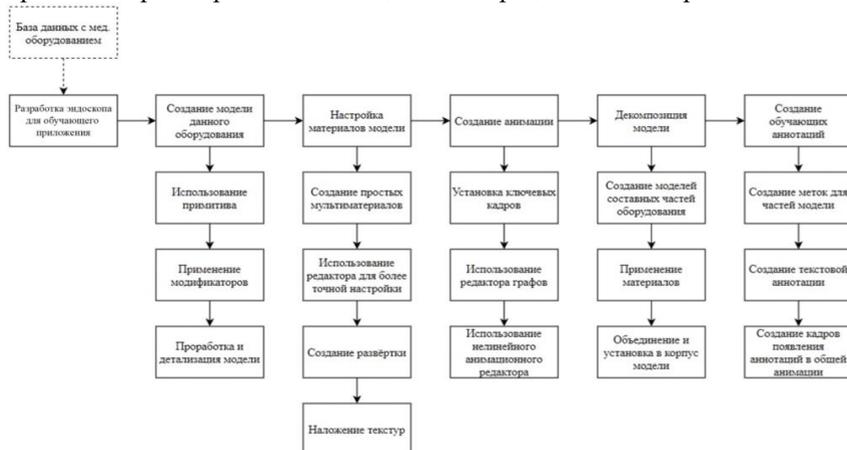


Рис. 2 – Этапы разработки агрегатора

Кроссплатформенность агрегатора позволит проводить процесс обучения с помощью ноутбука/планшета или телефона и, при необходимости воссоздания реалистичности процесса, очков виртуальной реальности Oculus Quest 2. Агрегатор сделает возможным изучение основных блоков оборудования, основных элементов в зависимости от выбранного уровня детализации, режима работы оборудования, основных неисправностей и методов их устранения, требований к лицензированию медицинских кабинетов.

Интерактивное образование с применением мобильных виртуальных технологий позволит повысить вовлеченность обучающихся и повысить качество образовательного процесса.

Библиографический список

1. High Level Group. High Level Group on the Modernisation of Higher Education; Report to the European Commission on New modes of learning and teaching in higher education; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2014.
2. Пеккер П. Л. Дистанционное обучение: опыт московских вузов // Человек и образование. – 2015. – № 2 (43). – С. 66–71.
3. University of Oxford International Strategy Office. International Trends in Higher Education 2016–17; University of Oxford: Oxford, UK, 2017.
4. Surface Gradient Based Bump Mapping Framework Morten S. Mikkelsen Unity Technologies, USA October 7, 2019

УДК 58.087.1

**АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У
ПАЦИЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ПУЛЬМОНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПАТОЛОГИЯМИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ НЕЛИНЕЙНОЙ
ДИНАМИКИ**

Н.О. Антипов, А.Н. Калиниченко

СПБГЭТУ «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В.И. Ленина», г. Санкт-Петербург

В работе рассмотрен метод оценки наличия одной из пульмонологических патологий (обструкции или рестрикции) для пациентов пожилого возраста. Алгоритм заключается в вычислении параметра корреляционной размерности, позволяющего оценить уровень хаотичности работы сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова: *вариабельность сердечного ритма; обструктивные заболевания; рестриктивные заболевания; корреляционная размерность; детерминированный хаос; нелинейные методы.*

**ANALYSIS OF HEART RATE VARIABILITY IN PATIENTS WITH
VARIOUS PULMONARY PATHOLOGIES USING METHODS OF
NONLINEAR DYNAMICS**

N.O. Antipov, A.N. Kalinichenko

St.Petersburg State Electrotechnical University “ETU”, St.Petersburg

The work assesses the presence of one of the pulmonary pathologies – obstruction or restriction in elderly patients. An algorithm for calculating the parameter of the correlation dimension and assessing the level of chaos in the cardiovascular

system activity is presented.

Key words: *heart rate variability; obstructive diseases; correlation dimension; deterministic chaos; non-linear methods.*

Ввиду схожести симптомов пульмонологических заболеваний, для их классификации необходимы достаточно сложные диагностические методы, такие как бронхоскопия и функциональные легочные тесты. В то же время, данный класс болезней оказывает воздействие на сердечно-сосудистую систему, диагностику состояния которой выполнить существенно проще. В частности, влияние физической нагрузки на хаотичность работы сердца исследовалось в работе [1]. Основной целью данной работы было исследование возможности дифференцирования рестриктивных и обструктивных нарушений легких путем анализа variability сердечного ритма с помощью методов нелинейной динамики.

Выборка пациентов в данном исследовании была разбита на 3 класса: 7 испытуемых с обструктивными нарушениями, 7 испытуемых с рестриктивными нарушениями и 7 испытуемых контрольной группы без нарушений в работе легочной системы. В качестве диагностического прибора использовался «Спироартериокардиограф-01» (САКР), разработанный фирмой «Инкарт» (Санкт-Петербург). Исследование проводилось в состоянии покоя и с использованием постепенно увеличивающейся нагрузки (уровни нагрузки: 40 Вт, 50 Вт, 60 Вт, 70 Вт, 80 Вт), создаваемой с помощью велоэргометра. Длительность каждой записи составляла 300 с.

При исследовании RR-интервалов выделялись фрагменты по уровню нагрузки (рис. 1). Также дополнительно рассматривался процесс релаксации – постепенного снижения нагрузки без определенного шага, поскольку данный параметр зависел от индивидуальных особенностей испытуемых.

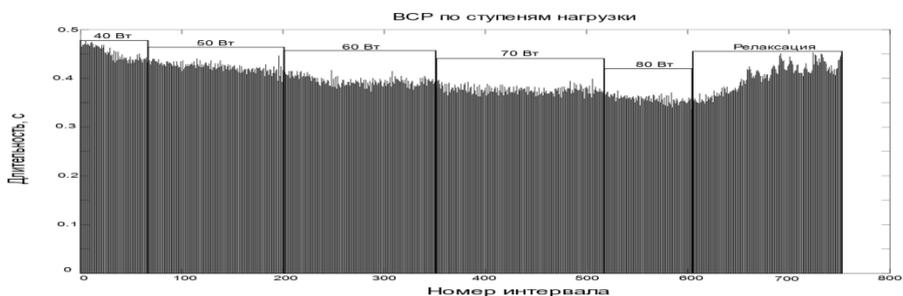


Рис. 1 – Ритмограмма с выделенными этапами нагрузки

Для оценки хаотичности работы сердечно-сосудистой системы рассчитывался параметр корреляционной размерности (КР), который является мерой сложности системы, позволяя оценить количество степеней свободы системы, необходимых для ее описания. Для получения значения КР использовался метод, предложенный в работе [2], основанный на определении угла наклона зависимости $\log C$ и $\log r$ в пространстве вложения m :

$$d = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log C}{\log r},$$

где d – значение корреляционной размерности, C – средняя частота попаданий точек в область, ограниченную радиусом r , r – радиус сферы, описываемой вокруг точек траектории.

Пространство вложения рассматривалось в диапазоне значений от 2 до 10. Данный диапазон был выбран на основании эмпирических данных, исследованных в работах [1, 3].

В ходе исследования были выявлены случаи, когда значение корреляционной размерности не изменялось при увеличении размерности вложения на определенных этапах нагрузки. На основании этого было выделено 3 класса динамики изменения корреляционной размерности – КР изменяется на всех этапах нагрузки, КР остается практически неизменной на всех этапах нагрузки, КР перестает изменяться на поздних этапах нагрузки. Поведение КР для группы с рестриктивным типом нарушений имеет поведение отличное, от поведения КР в контрольной группе, в то время как группа с обструктивными имеет поведение, схожее с контрольной группой. Стоит отметить, что рестрикции более свойственны изменения параметра КР в ходе исследования, чем другим группам. Распределение параметра КР представлено на рисунке 2.

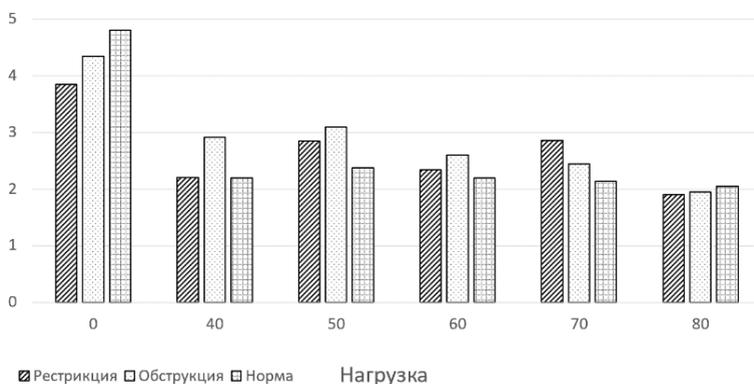


Рис. 2 – Распределение параметра КР для каждого из этапов нагрузки

Исследование показало, что на ранних этапах нагрузки, а также в состоянии покоя, значение КР для пациентов с обструктивными нарушениями превалирует над значениями КР для группы с рестриктивными нарушениями, однако на поздних этапах данная закономерность не наблюдается. На дальнейших стадиях работы планируется расширение выборки испытуемых, а также использование альтернативного параметра для оценки хаотичности работы системы – аппроксимированной энтропии.

Библиографический список

1. Эйдукайтис А., Варонецкас Г., Жемайтите Д. Применение теории хаоса для анализа сердечного ритма в различных стадиях сна у здоровых лиц //Физиология человека. – 2004. – Т. 30. – №. 5. – С. 56-62.
2. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence //Dynamical systems and turbulence, Warwick 1980. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1981. – С. 366-381.
3. Эйдукайтис А., Варонецкас Г., Жемайтите Д. Изменение нелинейных характеристик variability сердечного ритма под влиянием физической нагрузки на функцию сердечно-сосудистой системы здоровых и больных ишемической болезнью сердца //Физиология человека. – 2006. – Т. 32. – №. 3. – С. 5-12.
4. Grassberger P. Generalized dimensions of strange attractors //Physics Letters A. – 1983. – Т. 97. – №. 6. – С. 227-230.
5. Ватамова С. Н. и др. Теория хаоса-самоорганизации в описании функциональных систем организма человека //Вестник новых медицинских технологий. – 2014. – Т. 21. – №. 2. – С. 15-20.

УДК 615.47

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПОРТАТИВНОГО СПЕКТРОФОТОМЕТРА ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЗАДАЧ

Е.Н. Шалобыта, И.П. Корнеева

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ” им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

*Предложена структурная схема компактного портативного устройства для проведения спектрофотометрического анализа в медицинских целях. Подобраны варианты компонентов для рассматриваемых узлов прибора. **Ключевые слова:** оптические методы, спектральный анализ, фотометрия, спектрофотометры, портативные устройства, телемедицина.*

BLOCK DIAGRAM OF A PORTABLE SPECTROPHOTOMETER FOR MEDICAL GOALS

E.N. Shalobyta, I.P. Korneeva

Saint-Petersburg State Electrotechnical University 'LETI', Saint-Petersburg

A block diagram of a compact portable spectrophotometric device for medical purposes is proposed. The components for the considered device parts are selected.

Keywords: *optical methods, spectral analysis, photometry, spectrophotometers, portable devices, telemedicine.*

Одной из главных мировых тенденций развития компьютерных технологий в области современной медицины является активное внедрение в повседневную врачебную практику телемедицинского оборудования, в частности устройств удаленного мониторинга за пациентами, предоставляющих возможность снять необходимые диагностические показатели в домашних условиях и передать их в информационную систему здравоохранения для получения дальнейшей консультации врача.

Количество устройств, которые используются для постоянного мониторинга здоровья, постоянно растет [1], меняются методики проведения измерений, во многом облегчая процесс сбора диагностической информации. Однако проблема дистанционного отслеживания сведений, для получения которых требуется проведение лабораторных исследований биологических жидкостей, до сих пор окончательно не решена. Вместе с тем, качественный и количественный анализ компонентов биологических жидкостей предоставляет врачу важнейшие данные о скрытых патологических изменениях, протекающих в организме.

В связи с этим актуальной является разработка устройства для расширенного анализа состояния пациента, основой которому может послужить обычный лабораторный спектрофотометр. Среди основных предъявляемых к такому прибору требований будут его компактность, относительная дешевизна при условии сохранения высокой точности измерений, а также удобство использования в ежедневной практике.

На рис. 1 представлена структурная схема портативного спектрофотометра, подходящего для использования в медицинских целях, где: *ИИ* – источник излучения, *К* – измерительная кювета, *ИМ* – измерительный модуль, *МК* – микроконтроллер или Система управления модулями (*СУМ*), *ВТ* – Bluetooth-модуль, *ИП* – источник питания, *ВнУ* – внешнее устройство. Широкие стрелки иллюстрируют движение светового потока, переходящего после измерительного модуля в электрический сигнал (узкие стрелки). В пунктирную рамку взяты модули, размещенные в корпусе прибора. Пунктирная стрелка отражает беспроводную передачу данных.

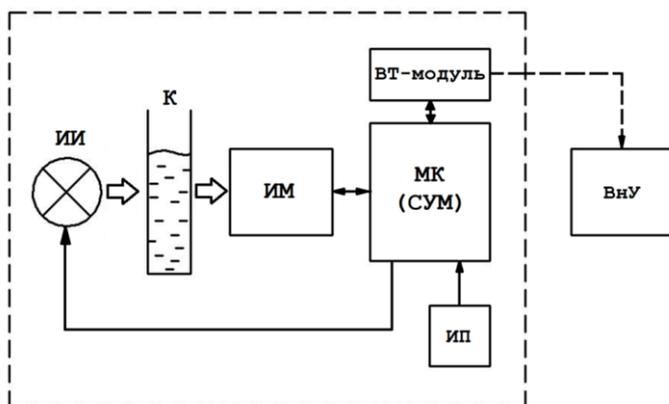


Рис. 1 – Структурная схема портативного спектрофотометра для медицинских задач

При разработке портативного спектрофотометра наиболее оптимальным вариантом будет выбрать в качестве *источника излучения* LED светодиод. Он обладает наименьшими линейными размерами по сравнению с другими источниками света (галогеновыми или ксеноновыми лампами, например), самой малой мощностью потребления и самой низкой стоимостью. При этом обеспечивает продолжительный срок эксплуатации, надежное функционирование и достаточно широкий спектр излучения (от 350-800 нм). Рекомендуется выбрать светодиод теплого белого света, так как в его спектральной характеристике, в отличие от холодного белого светодиода, характерный провал в области 500 нм [2].

На сегодняшний день существует довольно обширное разнообразие видов *измерительных кювет*, использующихся для различных типов проб и методов проведения анализа. Многие приборы для спектрофотометрии оборудованы универсальными подставками для кювет, что обеспечивает большую гибкость их выбора, и именно это решение предлагается применить при разработке портативного устройства.

Измерительный модуль должен включать в себя оптическую систему, собирающую прошедший через кювету поток излучения, а также фотоприемник – преобразователь светового потока в электрическое излучение. Наиболее оптимальным вариантом при проектировании компактного, портативного устройства является использование специализированных спектральных модулей. В их составе уже присутствует входная щель и светочувствительная КМОП-матрица, а также специальная оптическая система – *полихроматор* – для одновременного выделения нескольких специфичных полос спектра.

Систему Управления Модулями достаточно просто реализовать на программируемом микроконтроллере, который позволит регулировать режим

работы источника излучения, обрабатывать данные, полученные с выхода спектрального модуля, а также передавать информацию на *Bluetooth-модуль*, откуда она посредством беспроводной передачи данных может поступать на любое *Внешнее устройство* (компьютер или мобильный телефон) служит для дальнейшей обработки.

Для обеспечения работы всех модулей предполагается использование единственного *источника питания*, подключенного к *СУМ*. Питание оставшихся компонентов схемы (*ИМ и ВТ-модуля*) обеспечивается с платы микроконтроллера. Питание и регулировка интенсивностью излучения *ИИ* реализуется при помощи специализированного управляющего драйвера.

Библиографический список

1. Wearable Healthcare Devices market – Exclusive Report by Marketsand Markets // Bloomberg.com: новостной портал. URL: <https://www.bloomberg.com/press-releases/2021-12-06/wearable-healthcare-devices-market-worth-30-1-billion-by-2026-exclusive-report-by-marketsandmarkets> (дата обращения: 01.11.2022)
2. Обзор светодиодной продукции // Электронный портал RADAR. URL: https://www.radioradar.net/radiofan/lighting/overview_led_products_cree.html (дата обращения: 01.11.2022)

УДК 621.317.616

МЕТОДЫ СЕГМЕНТАЦИИ НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО КОНТУРА ДЛЯ АНАЛИЗА МЕДИЦИНСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

И.А. Зинин, В.И. Жулев

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрены принципы обработки медицинского изображения для метода сегментации на основе активного контура и модели градиентного векторного потока.

Ключевые слова: *активный контур, сегментация, локальный минимум, градиент векторного потока.*

ACTIVE LOOP-BASED SEGMENTATION METHODS FOR MEDICAL IMAGE ANALYSIS

I.A. Zinin, V.I. Zhulev

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The principles of medical image processing for the segmentation method based on the active contour and the gradient vector flow model are considered.

Key words: *active contour, segmentation, local minimum, vector flow gradient.*

Модели активных контуров используются в различных приложениях обработки изображений, в частности, в обработке медицинских изображений.

В медицинской визуализации активные контуры используются для сегментации областей на различных медицинских изображениях, таких как КТ-изображения мозга, МРТ-изображения различных органов, изображения сердца и различных областей человеческого тела. Активные контуры также могут использоваться для отслеживания движения и стереослежения. Таким образом, сегментация активных контуров используется для выделения интересующих пикселей при обработке различных изображений.

Активный контур - это вид техники сегментации, который можно определить, как выделение интересующих пикселей из изображения для дальнейшей обработки и анализа. Контур - это границы, разработанные для области интереса на изображении. Контур - это набор точек, которые подвергаются процессу интерполяции. Процесс интерполяции может быть линейным, сплайновым и полиномиальным, что описывает кривую на изображении [2].

Например, для сегментации с помощью активных контурных моделей рассматривается срез КТ-изображения головного мозга. Контур изображения определяет слои области в мозге, что показано на рисунке 1.

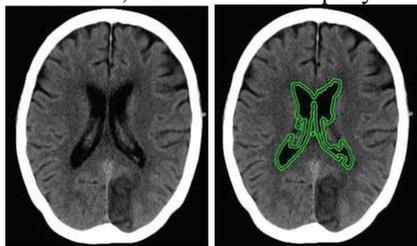


Рис. 1 – Сегментация изображения КТ головного мозга с использованием активных контуров.

Модель активного контура разработана таким образом, чтобы варьировать свою форму и положение, распространяется по области изображения для уменьшения энергетической функции и динамически перемещаться к локальному минимуму. Активный контур выражается уравнением (1). В модели используется параметрическая форма кривой, которая имеет больше преимуществ, чем использование неявных и явных форм кривой.

$$V(s, t) = (x(s, t), y(s, t)) \quad (1)$$

где x и y - координаты двумерной кривой, v - параметр сплайна в диапазоне 0-1, s - линейный параметр $\in [0, 1]$ и t - параметр времени $\in [0, \infty]$.

Силы в активном контуре включают внешние силы, а также силы изображения, что помогает в идентификации признаков. Когда модель змеи движется по замкнутой кривой, она движется под воздействием как внутренней, так и внешней энергии, чтобы общая энергия была минимальной. Полная энергия активной модели змеи представляет собой

сумму трех типов энергии, а именно: внутренняя энергия (E_i), которая зависит от степени связи сплайна с формой целевого изображения; внешняя энергия (E_e), которая включает внешние силы, заданные пользователем, а также энергию от различных других факторов; энергия рассматриваемого изображения (E_1), которая передает ценные данные об освещенности сплайна, представляющего целевой объект. Общая энергия, определяемая для формирования контура в модели змеи, задается уравнением (2).

$$E_T = E_i + E_e + E_1 \quad (2)$$

$E_{internal}$ описывает внутреннюю энергию, которая определяет ограничения по кусочной гладкости в контуре, где α определяет, как далеко будет вытянута змея, и возможную для нее мощность упругости. β определяет уровень жесткости для змеи. Внутренняя энергия задается уравнением (3).

$$E_{internal} = \sigma \left| \frac{dv}{ds} \right|^2 + \beta \left| \frac{d^2v}{ds^2} \right| \quad (3)$$

Внешние энергетические ограничения в основном используются для определения активного контура вблизи требуемого локального минимума. Она может быть описана с помощью высокоуровневой интерпретации и взаимодействия.

$$E_{image} = w_1 I(x, y) + w_2 |\nabla I(x, y)|^2 + \dots, \quad (4)$$

Контур целевого объекта показан в приведенном выше уравнении (4), где w_1 называется эффективной линией, а w_2 - эффективной кромкой. В соответствии с большими значениями w_1 и w_2 , активный контур будет ориентироваться на более темные области пикселей в случае положительного значения и продвигаться к светлым пикселям при отрицательном значении.

Модель применяется для сегментации левого легкого на снимке грудной клетки, что показано на рисунке 4. Вокруг левого легкого формируется контур, который может быть использован для дальнейшей обработки.

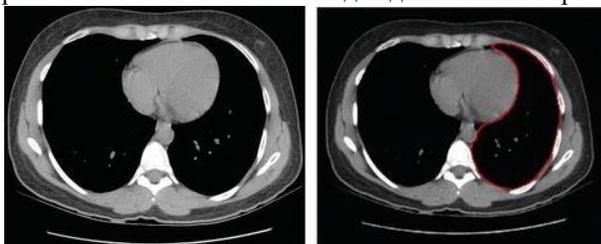


Рис. 2 – Сегментация изображения грудной клетки с использованием модели активного контура.

Традиционная модель активного имеет два ограничения: плохая сходимость контура для вогнутых границ и когда поток кривой змейки начинается на большом расстоянии от минимума. Модель градиентного векторного потока как расширение использует поле градиентного векторного потока как энергетическое ограничение для определения потока контура.

Поле градиентного векторного потока определяется на основе следующих шагов. Первым шагом является определение функции отображения краев $f(x, y)$ из изображения $I(x, y)$. Функция отображения краев для бинарных изображений описывается уравнением (5), где $G_\sigma(x, y)$ - двумерная гауссова функция со статистическим параметром, стандартным отклонением σ .

$$f(x, y) = -G_\sigma(x, y) * I(x, y) \quad (5)$$

Функция карты краев для полутоновых изображений задается уравнением (6), где оператор градиента - ∇

$$f(x, y) = -|\nabla[G_\sigma(x, y) * I(x, y)]|^2 \quad (6)$$

В области медицинской визуализации сегментация изображений различных областей человеческого тела проводится для изучения, диагностики и обнаружения отклонений. Поражения, сгустки крови, аномальные наросты, кисты, опухоли, раковые клетки, небольшие аневризмы, вздутия и другие разнообразные аномалии могут быть сегментированы из медицинских изображений для облегчения анализа и диагностики [6].

Библиографический список

1. Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: Active contour models. International Journal of Computer Vision. 1988; стр.321-331.
2. Chan TF, Vese LA. Active contours without edges. IEEE Transactions on Image Processing. 2001; стр. 266-277.
3. Laurent Cohen D. On active contour models and balloons. CVGIP: Image Understanding. 2004; стр. 53:211-218.
4. Xu C, Prince JL. Gradient vector flow: A new external force for snakes. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '97); 17-19 June 1997; Puerto Rico, USA: IEEE; 1991. стр. 66-71.
5. Caselles V, Catté F, Coll T, Dibos F. A geometric model for active contours in image processing. Numerische Mathematik. 1993; стр. 66:1-31.
6. McInerney T, Terzopoulos D. Deformable models in medical image analysis: A survey. Medical Image Analysis. 1996; стр. 1:91-108.

УДК: 615.47:616-072.7

СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА СИГНАЛА ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ

Е.А. Кошаев, А.Э. Файзулин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург

В статье рассмотрены автоматические алгоритмы нахождения основных характерных точек пульсовой волны. Оценена эффективность применения данных алгоритмов, рассчитаны основные параметры точности.

Ключевые слова: *фотоплетизмограмма, параметры пульсовой волны, алгоритмы детекции.*

COMPARISON OF THE ACCURACY OF PULSE WAVE SIGNAL ANALYSIS ALGORITHMS

E.A. Koshaev, A.E. Fayzulin

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», Saint-Petersburg

The article considers automatic algorithms for finding the main characteristic points of a pulse wave. Efficiency of application of these algorithms is estimated, main parameters of accuracy are calculated.

Key words: photoplethysmogram, pulse wave parameters, detection algorithms

Состояние сердечно-сосудистой системы во многом определяется состоянием сосудов, состояние которых можно отслеживать по изменениям пульсовой волны (ПВ) (по соотношению анакротической и диакротической фаз ПВ). Анализ ПВ производится по сигналу фотоплетизмограммы (ФПГ), который позволяет оценить уровень кровенаполнения сосуда.

Основными характеристиками являются «pulse peak» и «pulse foot», которые соответствуют точкам максимума и минимума ПВ (рисунок 1).

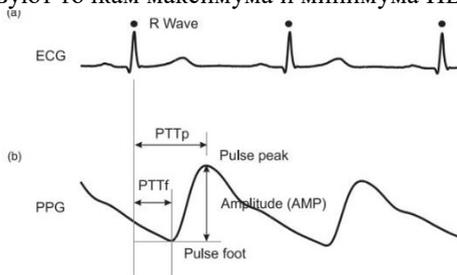


Рис. 1 – ЭКГ (a) и пульсовая волна (b)

Считается, что продолжительность и частота ПВ зависят от работы сердца, а форма и величина её пиков – от состояния сосудистой стенки [3]. Для определения основных характерных точек ПВ существует множество алгоритмов. В данной статье рассмотрены и реализованы два наиболее распространенных алгоритма.

Наиболее простым в реализации является алгоритм, основанный на анализе производных по сглаженному сигналу ПВ [1]. Основные этапы данного алгоритма анализа ФПГ сигнала представлены на рисунке 2.

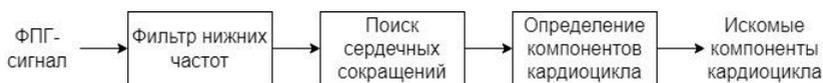


Рис. 2 – Структурная схема алгоритма анализа сигнала ФПГ

Благодаря применению фильтра нижних частот сигнал ПВ сильно сглаживается (), это позволяет исключить большинство частот, которые могут содержать двигательные и другие артефакты. Для исключения сдвига

фаз сигнал фильтруется в прямом и обратном направлении.

Полученный сильно сглаженный сигнал ФПГ дифференцируется, после чего по дифференцированному сигналу выделяются «опорные» точки максимумов. Каждая точка соответствует одному «сердечному сокращению», в интервалах между которыми производится поиск точек минимумов и максимумов исходного сигнала ФПГ.

Определение компонентов сигнала происходит на двух смежных сегментах. Один из сегментов будет содержать перкуссионный пик, другой - приливный пик, дихротическую выемку и дихротический пик. Описанный алгоритм был реализован с помощью программной среды MATLAB, пример результата работы алгоритма представлен на рисунке 4а.

Для сравнения результатов был рассмотрен еще один алгоритм анализа, основанный на функции среднего наклона [2]. Основные этапы алгоритма представлены на рисунке 3.



Рис. 3 – Основные этапы алгоритма

После получения сигнала ФПГ с помощью полосового фильтра с полосой пропускания 0,5–11 Гц неинформативные компоненты сигнала удаляются.

Далее происходит преобразование получившегося сигнала с помощью использования функции среднего наклона по формуле 1.

$$SSF_i = \sum_{k=i-w}^i \Delta x_k, \text{ где } \Delta x_k = \begin{cases} \Delta s_k & : \Delta s_k > 0 \\ 0 & : \Delta s_k \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Данная функция усиливает восходящий наклон сигнала и подавляет оставшуюся часть сигнала. С помощью порога, равного 70% от максимальной амплитуды в первые 3 секунды сигнала, определяются экстремумы, которые являются искомыми пиками [2]. Данный алгоритм был реализован в программной среде MATLAB, пример полученного результата представлен на рисунке 4б.

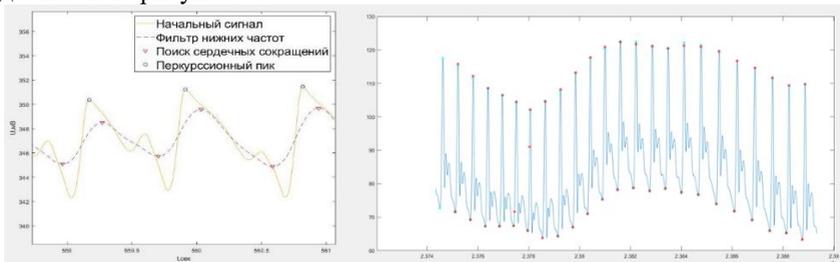


Рис. 4 – Результаты работы алгоритма

Для оценки эффективности реализованных алгоритмов были рассчитаны чувствительность (Se) и положительная предсказательная точность (PPV) по

формулам 2 и 3.

$$Se = \frac{TP}{TP + FN} ; PPV = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2) (3)$$

В результате сравнения референтных позиций минимумов и максимумов (полученных с помощью экспертной ручной разметки) и результатов работы алгоритма в установленном доверительном интервале (15 мс) по 15-ти минутным записям сигналов ФПГ 15 пациентов были получены следующие значения параметров точности алгоритмов, представленные в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры точности алгоритмов

Номер алгоритма	1	2
Чувствительность (Se)	53%	96 %
Положительная предсказательная точность (PPV)	44%	100 %

Исходя из анализа результатов работы алгоритмов, представленных в таблице 1, можно заметить, что алгоритм 2, основанный на анализе функции среднего наклона, справляется с задачей детекции лучше алгоритма 1, основанного на анализе сглаженного сигнала. Полученные результаты свидетельствуют о том, что алгоритм 1 больше подвержен влиянию артефактов, а также хуже работает на сигналах патологических форм. Таким образом использование алгоритма 2, основанного на анализе функции среднего наклона, позволит повысить точность определения точек и улучшит качество работы алгоритмов.

Библиографический список

1. AUTOMATIC DETECTION ALGORITHM OF INTRACRANIAL PRESSURE WAVEFORM COMPONENTS // Mateo Aboy, James RicNames, Brahm Goldstein // Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference – 2001.
2. Dae-Geun Jang, Sangjun Park, Minsoo Hahn, and Seung-Hun Park, "A Real-Time Pulse Peak Detection Algorithm for the Photoplethysmogram," International Journal of Electronics and Electrical Engineering, Vol. 2, No. 1, pp. 45-49, March 2014. doi: 10.12720/ijeee.2.1.45-49
3. J. Allen, "Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement," *Physiol. Meas.*, vol. 28, pp. R1-R39, Jan. 2007.

УДК 004.021

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ХОДЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Е.В. Суховерхая, А.Н. Калиниченко

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

Представлено алгоритмическое обеспечение программного комплекса для анализа variability сердечного ритма в ходе функциональных исследований. Исследована информативность получаемых параметров.

Ключевые слова: *variability сердечного ритма, функциональное исследование, сердечно-сосудистая система, временной анализ, частотный анализ, линейный дискриминантный анализ, рестрикция, обструкция.*

SOFTWARE COMPLEX FOR THE ANALYSIS OF HEART RATE VARIABILITY DURING FUNCTIONAL STUDIES

E.V. Sukhoverkhaya, A.N. Kalinichenko

St. Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg

Algorithms and software complex for the analysis of heart rate variability in the course of functional studies are presented. The informativity of the obtained parameters is investigated.

Key words: *heart rate variability, functional diagnostics, cardiovascular system, time analysis, frequency analysis, linear discriminant analysis, restriction, obstruction.*

Функциональная диагностика сердечно-сосудистой системы часто включает проведение нагрузочных проб: на фоне физической нагрузки активнее проявляются отклонения и нарушения функций органов и систем, в том числе те, которые сложно пронаблюдать при проведении других видов диагностики.

Проведение нагрузочных проб в рамках функциональной диагностики с использованием велоэргометрии чаще всего призвано выявить латентную коронарную недостаточность, ишемические болезни сердца, нарушения ритма и клапанные пороки сердца. Однако одной из целей данной работы являлся поиск информативных параметров и их комбинаций, позволяющих выявлять и другие латентные нарушения, которые ранее не принято было оценивать в такого рода исследованиях.

Для задачи поиска относительно быстро и математически просто определяемых показателей для оценки нарушений работы сердечно-сосудистой системы была выбрана оценка variability сердечного ритма (BCP) как во временной, так и в частотной областях.

Временные показатели BCP позволяют оценить состояние вегетативной нервной системы и общую активность регуляторных механизмов организма [2]. Для получения временных показателей BCP в данной работе были выбраны статистические методы: они хорошо подходят для оценки записей длительностью от нескольких минут.

Анализ BCP в частотной области позволяет оценить волновой характер сердечного ритма, связанного с колебательными процессами в системе кровообращения [3]. В данной работе для расчета спектральной плотности мощности (СПМ) используется метод Уэлча: он был выбран в связи с

быстротой вычислений, математической простотой и возможностью работать с относительно короткими фрагментами сигнала [1].

Для расчета временных и частотных показателей в ходе проводимого исследования в рамках данной работы был разработан программный комплекс. Его необходимость была обусловлена двумя основными причинами:

1. Существующие программные комплексы не позволяют рассчитывать необходимые конкретному исследователю характеристики и контролировать методику расчета.

2. Существующие программные комплексы не позволяют рассчитывать исследуемые параметры для каждой ступени нагрузки в отдельности, так как процессы, происходящие в организме на каждой ступени нагрузки, не являются стационарными, что не позволяет применять к ним методы анализа ВСР. Однако отличительной особенностью данного исследования является допущение о том, что как минимум за 60 секунд нахождения на одной ступени нагрузки организм успевает к ней адаптироваться, и рассматриваемые на этом участке времени процессы можно условно рассматривать как стационарные. Предполагается, что такой подход может помочь выявить взаимосвязи, которые не проявлялись при классических подходах к оценке ВСР.

Алгоритм обработки данных с целью анализа ВСР, на основе которого был построен программный комплекс, включает отбраковку RR-интервалов, (формирование последовательности NN-интервалов), анализ временных показателей ВСР, интерполяцию полученного сигнала и анализ ВСР в частотной области.

На вход программного комплекса поступают сигнал ЭКГ с отметками R-зубцов, сигнал АД и информация о временных границах ступеней нагрузки. На выходе программы исследователь получает набор временных и частотных параметров, рассчитанных для каждой ступени нагрузки в отдельности.

Для исследования информативности параметров в данной работе была поставлена задача классификации записей пациентов с диагностированными рестрикцией и обструкцией дыхательных путей. Выборка образцов каждого из двух классов состояла из трех типов записей, зарегистрированных при нормальном и уреженном дыхании, а также при проведении нагрузочной пробы с использованием велоэргометра. В каждом из случаев был предусмотрен перебор всех возможных комбинаций параметров – от взятия всех 15-ти до одного – и выбраны варианты с наилучшим разделением, определяемым коэффициентом линейной делимости классов (КЛР) [4].

К наборам признаков был применен метод линейного дискриминантного анализа (ЛДА), призванный найти оптимальное положение весового вектора для наилучшего разделения классов. Результаты для случаев с наибольшими значениями коэффициентов линейной делимости классов представлены на рисунке 1.

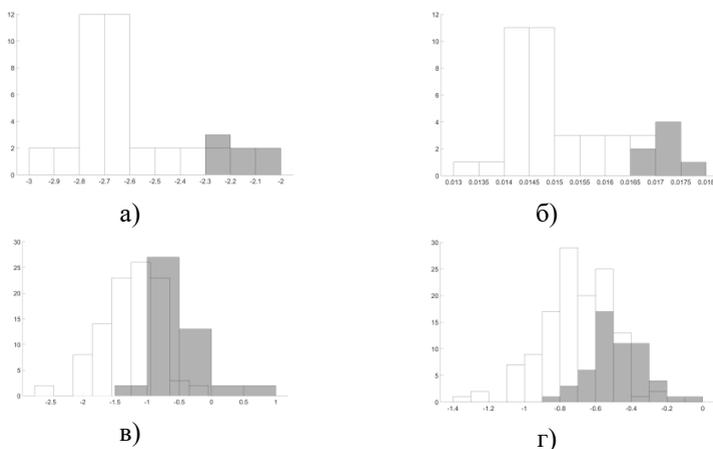


Рис. 1 – Гистограммы распределения признаков после применения ЛДА. Светлые столбцы гистограммы относятся к записям с рестрикцией, темные – с обструкцией. а) Запись с нормальным дыханием, КЛР = 8.5; б) запись с уреженным дыханием, КЛР = 6.5; в) запись при нагрузочной пробе, КЛР = 1.3; г) все три типа записей, КЛР = 0.9.

Как результат, при коррекции перечня исследуемых параметров и применении метода ЛДА удалось добиться приемлемых результатов разделения данных на два класса, преимущественно в случае записей с нормальным и уреженным дыханием. Это может говорить об информативности исследованных предложенным способом параметров и их перспективности для решения задачи классификации патологий, которые не были исследованы схожими методами ранее. Полученные результаты потенциально могут быть улучшены и использованы в дальнейших исследованиях.

Библиографический список

1. Рабочая группа Европейского Кардиологического Общества и Североамериканского общества стимуляции и электрофизиологии // Вариабельность сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования. Русский перевод: фирма «Инкарт».
2. Асомов М.И., Кадырова Г.Г. Сердца у больных с артериальной гипертензией различного возрастного периода. Ташкент: Ташкентский Педиатрический Медицинский Институт.
3. Рубинский А.В. Ритмология. СПб., 2022.
4. Обработка данных в среде MATLAB / сост.: А.П. Немирко, Л.А. Манило. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013.

ПОДГОТОВКА НАБОРА ВЕКТОРОВ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МИКРОЛИЦЕВЫХ ДВИЖЕНИЙ

В.А. Саблина, А.Д. Черненко

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрена задача обнаружения микролицевых движений в областях, определенных системой кодирования лицевых движений. Описан процесс подготовки набора векторов признаков для обнаружения микролицевых движений.

Ключевые слова: обнаружение микролицевых движений, вектор признаков, антропометрические точки лица, система кодирования лицевых движений.

PREPARATION OF A SET OF FEATURE VECTORS FOR MICRO-FACIAL MOVEMENT DETECTION

V.A. Sablina, A.D. Chernenko

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The task of micro-facial movement detection in the areas defined by the facial action coding system is considered. A process of preparing a set of feature vectors for micro-facial movement detection is described.

Key words: micro-facial movement detection, feature vector, facial landmarks, facial action coding system.

За последние несколько лет автоматический анализ микровыражений лица привлекает все большее внимание экспертов из разных сфер деятельности из-за его потенциально возможного применения в различных областях для распознавания эмоций человека. Несмотря на то, что изучение микровыражений лица является хорошо зарекомендовавшей себя областью в психологии [1], оно все еще является относительно новым с вычислительной точки зрения и сопряжено со многими проблемами. Например, недостаточно подходящих методов и алгоритмов для решения задач анализа микровыражений, а также не хватает наборов данных для исследовательской работы в данной области. В данной работе рассматривается задача обнаружения микролицевых движений в областях, определенных системой кодирования лицевых движений. Для проведения исследования применялся набор данных спонтанных действий и микродвижений SAMM [2]. Набор SAMM содержит лица 32 участников разных национальностей, пола и возраста, снятых со скоростью 200 кадров в секунду с разрешением 2040×1088. Полученный набор соответствует системе кодирования лицевых движений FACS [3] и содержит 7 закодированных эмоций.

В табл. 1 показаны номера антропометрических точек, соответствующих областям лица человека, значимым для анализа микровыражений. Среди

данных областей были выделены: правая щека, подбородок, левая щека, правая бровь, левая бровь, нос (прямая), нос (нижняя часть), правый глаз, левый глаз, губы (внутренняя часть), губы (внешняя часть). Обнаружение антропометрических точек производилось с помощью фреймворка MediaPipe на основе библиотеки TensorFlow [4]. Из обнаруженных TensorFlow 468 антропометрических точек были выбраны 62 точки, расположение выбранных точек показано на рис. 1.

Таблица 1 – Номера антропометрических точек TensorFlow для областей лица

Область лица человека	Номера антропометрических точек
Правая щека	234, 132, 172, 150, 176
Подбородок	152
Левая щека	400, 379, 397, 361, 454
Правая бровь	70, 63, 105, 66, 107
Левая бровь	336, 296, 334, 293, 300
Нос (прямая)	197, 195, 5, 4
Нос (нижняя часть)	166, 20, 94, 250, 392
Правый глаз	33, 161, 159, 157, 133, 154, 145, 163
Левый глаз	362, 384, 386, 388, 263, 390, 374, 381
Губы (внутренняя часть)	57, 39, 0, 269, 287, 405, 17, 181
Губы (внешняя часть)	62, 41, 12, 271, 292, 403, 15, 179

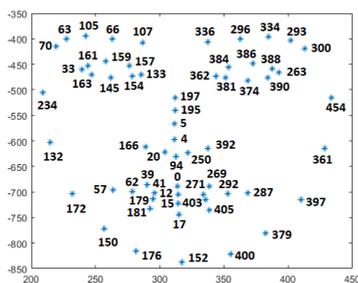


Рис. 1 – Расположение подмножества антропометрических точек лица

Для всех последовательностей из набора данных SAMM [1] были подготовлены наборы векторов признаков. Заполнение получившихся значений векторов признаков в таблицу, общий вид которой представлен в табл. 2, реализуется вручную с помощью шаблона, представленного на рис. 1, с указанием единиц движения [3]. Каждый элемент вектора представляет собой 0 или 1. Единица обозначает наличие микродвижения в области антропометрической точки с заданным номером, в том числе едва

заметного. Ноль обозначает полное отсутствие микродвижения в указанной области.

После того, как наборы векторов признаков для обнаружения микролицевых движений заполнены, их подмножества можно использовать в качестве обучающего и тестового набора при автоматической классификации дескрипторов признаков для локальных областей антропометрических точек лица [5]. Этап вычисления дескрипторов признаков может быть выполнен с помощью одного из известных алгоритмов дескрипторов: локальные бинарные шаблоны по трем ортогональным плоскостям LBP-TOP, гистограммы ориентированного оптического потока HOOF или 3D гистограммы ориентированных градиентов 3D-HOG. Последующим этапом является классификация дескрипторов признаков для обнаружения микролицевых движений, которая может быть выполнена с помощью методов, основанных на машинном обучении, например, с использованием классификатора на основе машины опорных векторов SVM.

Таблица 2 – Набор векторов для подмножества последовательностей

Номер	Единицы движения	Правая щека	Подбородок	Левая щека	Правая бровь	...	Губы (внутренняя часть)	Губы (внешняя часть)
006_1_2	4+7	00000	0	00000	00000	...	00000000	000000 00
006_1_3	4	00000	0	00000	00000	...	00000000	000000 00
...
006_1_6	4+7+ +43	00000	0	00000	00000	...	00000000	000000 00

Представленный процесс подготовки наборов векторов признаков для обнаружения микролицевых движений позволяет точно определить наличие движения не только в некоторой области лица, а именно в области конкретной антропометрической точки, что позволит более точно выполнить классификацию микролицевых движений. Но следует отметить, что описанный процесс требует дальнейшего исследования и улучшения.

Библиографический список

1. Paul Ekman, *Emotion in the Human Face*, 2nd Edition, Malor Books, 2013, 456 p.
2. Adrian K. Davison, Cliff Lansley, Nicholas Costen, Kevin Tan, and Moi Hoon Yap, “SAMM: A Spontaneous Micro-Facial Movement Dataset,” in *IEEE Transactions on Affective Computing*, Volume 9, No. 1, 2018, pp. 116-129.
3. Facial Action Coding System (FACS) – A Visual Guidebook [Электронный ресурс]. – URL: <https://imotions.com/blog/facial-action-coding-system/> (дата обращения: 05.11.2022).
4. MediaPipe on GitHub [Электронный ресурс]. – URL: <https://google.github.io/mediapipe> (дата обращения: 05.11.2022).

5. Giovanni Burresti and Victoria A. Sablina, "Micro-Facial Movement Detection Using LBP-TOP Descriptors for Landmark Based Regions," 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) Proceedings, Budva, Montenegro, 2021, pp. 401-404.

УДК 004.032.26

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕСКРИПТОРОВ КЛАССИФИКАТОРОВ СНИМКОВ ВИДЕОРЯДА

И.Н. Горбачев, В.В. Песок, А.Е. Пшеничный

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Разработано программное обеспечение, позволяющее формировать базу данных сегментов снимков видеоряда, вычислять дескрипторы для классификаторов и осуществлять разведочный анализ их релевантности.

Ключевые слова: *сегменты снимков, дескрипторы, классификаторы снимков видеоряда.*

SOFTWARE FOR FORMING DESCRIPTORS OF CLASSIFIERS OF VIDEO IMAGES

I.N. Gorbachev¹, V.V. Pesok¹, Pshenichnyy A.Ye.¹

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South-West State University», Kursk

Software has been developed that makes it possible to form a database of segments of video images, calculate descriptors for classifiers and carry out an exploratory analysis of their relevance.

Key words: *snapshot segments, descriptors, video sequence snapshot classifiers.*

Разработанные модули программного обеспечения (ПО) предназначены для классификации снимков видеоряда от любых объектов и обеспечивают возможность двухэтапной классификации. На первом этапе определяется только наличие интереса к данному снимку или сегменту (класс ROI или класс HE ROI), а на втором этапе выносится окончательное решение по вопросу принадлежности снимка или сегмента к конкретному классу. При этом возникают трудности, как на первом, так и на втором уровнях классификации [1, 2, 3].

Для решения поставленных в работе задач использовалось преобразование Уолша-Адамара [4, 5]. Изображение разбивается на сегменты заданного размера с размером кратными двум. После этого ЛППР, используя разработанное ПО, формирует базу данных. Для отнесения сегмента к заданному классу ЛППР использует глобальное изображение. Затем ЛППР отправляет сегмент в базу данных, которая и хранит сегмент с соответствующим маркером класса [5].

Программное обеспечение позволяет задавать размеры сегментов любого размера. Однако настройка классификатора требует одинаковых размеров сегментов, поэтому для обучения классификаторов был определен и взят размер сегментов равный 32x32 пикселя.

Основой вычислительных процедур является программный модуль вычисления преобразования Уолша. На рисунке 1 представлен интерфейс разработанного ПО, который позволяет проводить разведочный анализ сегментов по исследованию релевантности двумерных спектральных коэффициентов различных классов патологии.

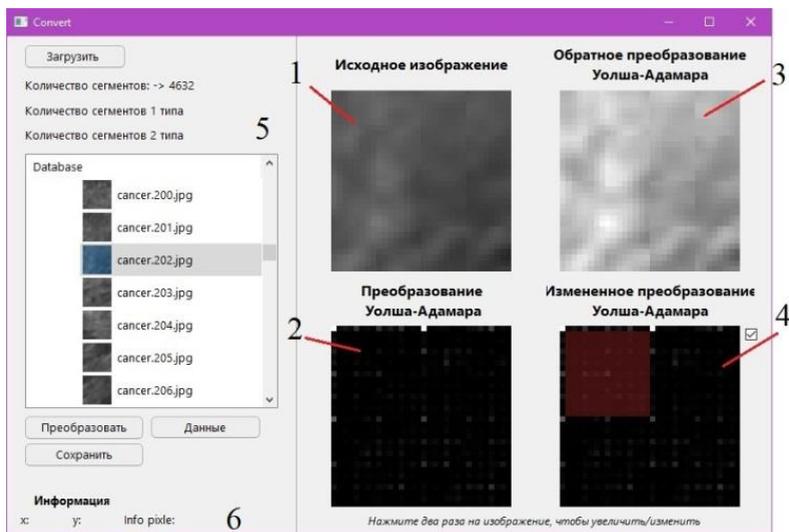


Рис. 1 – Изображение интерфейса программного обеспечения: 1) окно отображения исходного сегмента; 2) окно отображения двумерных спектральных коэффициентов Уолша; 3) окно отображения обратного преобразования Уолша; 4) окно отображения измененного преобразования Уолша; 5) область закружки базы данных и выбора сегментов; 6) область отображения информации о пикселе.

На этом изображении в области 1 отображается исходный сегмент, вырезанный из исходного изображения. Он загружается путем выбора мышью из области 5. Вычисленные двумерные спектральные характеристики преобразования Уолша отображаются в области 2. В ПО присутствует режим модификации содержания сегмента, при активировании которого ЛПП предоставляется возможность в ручном режиме выделить пиксели, которые, на его усмотрение, являются не релевантными спектральными коэффициентами Уолша и не несут в себе необходимой информации. Тем самым ЛПП сокращает размер вектора информативных признаков. Модифицированный спектр Уолша сегмента с обнуленными коэффициентами, отображается в области 4. В области 3 отобразится

результат удаления не релевантных характеристик двумерного спектра Уолша на изображение исходного сегмента.

Технология формирования дескрипторов состоит в анализе двумерных коэффициентов Уолша и нахождения значимых спектральных коэффициентов двумерного спектрального разложения путем визуального анализа изменений (сравнение области 1 и 2 рисунка 1), которые внесли удалённые не релевантные спектральные коэффициенты Уолша. Причем значимые коэффициенты отбираются по пороговому и информационному критериям.

В классифицируемом сегменте формируются вложенные окна размерами 8x8, 16x16, 32x32 пикселя. В каждом из этих окон выполняется преобразование Уолша. На основании полученного множества окон и соответствующих им оконных спектров формируются обучающие выборки для классификаторов [10, 11, 12, 13]. Классификатор состоит из трех независимо обучаемых нейронных сетей. Вектор X1 – это спектральные коэффициенты в 16 окнах 8x8, вектор X2 – спектральные коэффициенты восьми окон 16x16, вектор X3 – спектральные коэффициенты в окне 32x32. Для объединения выходов нейронных сетей используется простой блок усреднения по ансамблю. ПО позволяет сократить размер входных векторов классификаторов с минимальной потерей информативности.

Проведена экспериментальная апробация ПО при классификации изображений видеоряда с ландшафтными пожарами. Эксперименты на контрольных выборках показали точность классификации с дескрипторами, полученными посредством приведенной методики, по классам «нет области интереса» - «область интереса» не ниже 90%.

Библиографический список

1. Филист, С.А. Гибридные интеллектуальные модели для сегментации изображений рентгенограмм грудной клетки / Филист С.А., Томакова Р.А., Дегтярев С.В. и др. // Медицинская техника. - №5. 2017.- С. 41-45.
2. Дюдин, М.В. Автоматические классификаторы сложно структурируемых изображений на основе мультиметодных технологий многокритериального выбора / М.В. Дюдин, И.В. Зуев, С.А. Филист, С.М. Чудинов // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Системы и средства отображения информации и управления спецтехникой (СОИУ). – 2015. – Выпуск 1. – С.130-141.
3. Дабагов, А.Р. Многослойные морфологические операторы для сегментации сложноструктурируемых растровых полутоновых изображений / А.Р. Дабагов, И.А. Малютина, Д.С. Кондрашов и др. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика, медицинское приборостроение. – 2019. – Т.9, №3. – С. 44-63.
4. Шаталова, О.В. Метод классификации сложноструктурируемых изображений на основе самоорганизующихся нейросетевых структур / О.В.

Шаталова, А.А. Кузьмин, К.Д.А. Кассим, С.А. Филист // Радиопромышленность. – 2016. – №4. – С. 57-65.

5. Филист, С.А. Автоматизированная система для классификации снимков видеопотоков / С.А. Филист, М.В. Шевцов, В.А. Белозеров, Д.С. Кондрашов, И.Н. Горбачев, Н.А. Корсунский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2021. – Т. 11. № 4. – С. 85-105.

УДК 621.313.13-133.32

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ

А.А. Галиева

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа

Экзоскелеты становятся всё популярнее в различных сферах деятельности — они помогают людям в поднятии и перемещении тяжестей, безопасном выполнении потенциально травматичных или непосильных операций. Хотя экзоскелеты изобретены еще в середине XX века, в настоящее время данные устройства находятся на новом этапе развития, открывающем для них всё больше перспектив применения. [1].

Ключевые слова: пассивные экзоскелеты, активные экзоскелеты, бионические протезы, энергообеспечение, источники питания.

ENERGY SUPPLY OF EXOSKELETONS

A.A. Galiyeva

FGBOU VO «Ufa State Aviation Technical University», Ufa

Exoskeletons are becoming more and more popular in various fields of activity — they help people in lifting and moving weights, safely performing potentially traumatic or backbreaking operations. Although exoskeletons were invented in the middle of the XX century, currently these devices are at a new stage of development, opening up more and more prospects for their use. [1].

Keywords: passive exoskeletons, active exoskeletons, bionic prostheses, energy supply, power sources.

По способу действия экзоскелеты подразделяют на активные и пассивные. Активный класс включает экзоскелеты, которые оказывают «активную» помощь пользователю; другими словами, экзоскелеты выполняют движения без необходимости приложения пользователем энергии. Энергия, необходимая для выполнения движения, поступает от внешнего источника. С другой стороны, пассивный класс включает экзоскелеты, которые нуждаются

в том, чтобы пользователь выполнял движение для работы; эти экзоскелеты не имеют источников питания [1]. В зависимости от области, в которой применяются экзоскелеты, различают:

1. Медицинские. Основное предназначение – для пациентов, частично/полностью утративших возможность свободно перемещаться. Используется в качестве вспомогательного средства, когда человек проходит терапевтический курс восстановления, например, после инсультов или травм.

2. Промышленные. С помощью устройств существенно облегчаются условия труда на стройплощадках и предприятиях. Особенно актуально в момент, когда грузчики выполняют погрузочные работы [2].

3. Военные. Область, где сосредоточено многообразие моделей и используют передовые технологии. Солдаты применяют экзоскелеты не только в момент боевых действий, как принято считать в обществе, но и во время организации разных операций спасательного и разведывательного характера.

Таким образом, экзоскелетные устройства – это устройства, которые используются для увеличения силы мышц человека, расширения амплитуды движений и восполнения утраченных функций за счёт внешнего каркаса и приводных элементов [3].

В настоящее время актуальным направлением использования экзоскелетов является восполнение утраченных функций – разработка и использование высокобиомиметических устройств, которые воспроизводят не только функциональные возможности, но и внешний вид – например, антропоморфная рука [4].

Протез руки WPI, разработанный группой ученых из Политехнического института Ворчестера (США), является высокоточным, недорогим, легким биомиметическим протезом, воспроизводящим человеческую форму руки на основе 3D-печатных костей и сухожилий и связок, приводится в действие девятью шаговыми двигателями, упакованными в корпус «предплечья». Протез имеет 18 механических степеней свободы, длину 38 см и весит 2,2 кг.

Модульный протез руки, разработанный учеными Лаборатории прикладной физики Университета Джонса Хопкинса (США) способен выполнять почти все движения человеческой руки и кисти, оснащен более чем 100 датчиков в руке и предплечье. Его вес составляет 4,8 кг, протез включает в себя: аккумулятор, плечо с 3 степенями свободы, локоть с функцией разгибания, запястье с 3 степенями свободы и руку с 10 суставами [4].

Роботизированный протез I-Limb позволяет пользователю совершать различные уникальные положения захвата с помощью корректировки мощности и точности по мере необходимости. I-Limb выпускается в 4-х типоразмерах, оснащен перезаряжаемым литий-полимерным аккумулятором, с напряжением 7,4 В и емкостью 2000 мАч или 1300 мАч, весустройства составляет от 500 г. (Рис. 1).

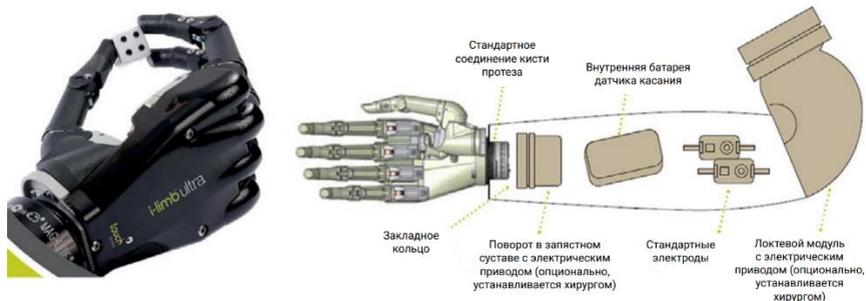


Рис. 1 – Роботизированный протез I-limb [4]

В РФ проводятся научные исследования и разработаны не только отдельные элементы, но и комплексные устройства ассистивной биомехатроники, например, 3D-печать, бионические глаза, протезы нижних и верхних конечностей, экзоскелеты и др. [5]. Однако наблюдается существенное отставание от мирового уровня качества указанных изделий.

Компания «Моторика» разрабатывает активные бионические протезы кисти и предплечья, в том числе роботизированные протезы с ЭМГ-управлением движением пальцев. В качестве источников энергопитания в роботизированных протезах используются аккумуляторные батареи с возможностью подзарядки по мере необходимости или зарядки при полной разрядке, а также достаточно мощные электродвигатели, расположенные аналогично устройству протеза I-limb.

Также разработкой экзоскелетов ориентированных на активную реабилитацию пациентов с локомоторными нарушениями нижних конечностей в результате травм, заболеваний опорно-двигательного аппарата или нервной системы, занимается компания «ЭкзоАтлет». Изделия «ЭкзоАтлет» рассчитаны на 4 – 8 часов активного использования, после чего необходима подзарядка установленных аккумуляторов. В изделиях «ЭкзоАтлет» используется до 75% российских комплектующих.

Таким образом, в рассмотренных бионических экзоскелетах рук в качестве источников питания применяются аккумуляторные батареи и шаговые двигатели иностранного производства. Для дальнейшего развития направления ассистивной биомехатроники необходимо уменьшение габаритных размеров и веса источников питания экзоскелетов с увеличением их емкости и продолжительности работы, а также использование отечественных разработок.

Библиографический список

1. Воробьев Александр Александрович, Андриющенко Ф.А., Засыпкина О.А., Соловьева И.О., Кривоножкина П.С., Поздняков А.М. Терминология и классификация экзоскелетов // Вестник ВолГМУ. 2015. №3 (55). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/terminologiya-i-klassifikatsiya-ekzoskeletov> (дата обращения: 12.09.2022).
2. Промышленные экзоскелеты // ООО «Полезные роботы». URL: https://usefulrobots.ru/wp-content/uploads/2021/01/Pres_UR_CI_RU_2020.pdf (дата обращения: 12.09.2022).
3. Морозов А.М. и др. Биопротезирование. История и современность [электронный ресурс] // <https://elibrary.ru>: журнал «Современные проблемы науки и образования», №4 – 2019. URL: <https://s.science-education.ru/pdf/2019/4/28969.pdf> (дата обращения: 12.09.2022).
4. Экспертный обзор «Технологии ассистивной биомехатроники» / Е. И. Аксенова, Н. Н. Камынина, С. Ю. Горбатов – М.: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2020. – 48 с.
5. Изготовление экзоскелетов // Производство. ExoAtlet. URL: <https://exoatlet.ru/proizvodstvo/> (дата обращения: 12.09.2022).

УДК 621.313.13-133.32

РАЗВИТИЕ ПРЕМЕНЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Т.Д. Хусаинов

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа

Еще совсем недавно слово «экзоскелет» вызывало ассоциации с чем-то фантастическим. Многие не могли представить, что со временем эта технология станет незаменимым помощником на предприятиях, где труд человека связан с тяжелыми физическими нагрузками. Сегодня использование данных устройств позволяет не только увеличить производительность труда работников, но и сберечь их здоровье.

Ключевые слова: Николай Ягн, пассивные и активные экзоскелеты, экзоскелет, история появления, сферы применения, первый прототип.

DEVELOPMENT OF THE APPLICATION OF EXOSKELETONS IN HUMAN LIFE

T.D. Khusainov

FGBOU VO «Ufa State Aviation Technical University», Ufa

More recently, the word "exoskeleton" evoked associations with something fantastic. Many could not imagine that over time this technology would become an indispensable assistant in enterprises where human labor is associated with heavy physical exertion. Today, the use of these devices allows not only to increase the productivity of workers, but also to save their health.

Keywords: *Nikolay Yagn, passive and active exoskeletons, exoskeleton, history of appearance, scope of application, first prototype.*

Экзоскелет – это мобильный механизм, который работает при помощи системы электродвигателей, рычагов, гидравлики и других технологических решений, предназначенный для восполнения утраченных функций человека, а также для увеличения силы мышц и расширения амплитуды движений [1].

Первым изобретателем экзоскелета считается русский инженер чугунолитейного завода Николай Ягн. Однажды на заводе произошел несчастный случай, который и подтолкнул его к изобретению «друга кочегара» — приспособления для автоматического наполнения парового котла и поддержания в нем воды на определенном уровне. За свое изобретение Ягн получил золотую медаль на выставке в Филадельфии. После этого он переехал в США, где получил свои основные патенты на изобретения. Так, в 1890-х годах он запатентовал ряд технологий, которые облегчали ходьбу, бег и прыжки человека. Их он планировал направить в помощь военным [2]. Созданный Н. Ягном механизм является прототипом современного экзоскелета.

Первый такой экзоскелет был разработан совместно General Electric и ВС США в 60-х годах прошлого века. Экзоскелет Hardiman мог поднимать 110 кг с усилием, применяемом при подъеме 4,5 кг. Однако из-за большого веса, составляющего 680 кг, он был непрактичным. Но именно с этого момента берет свое начало создание промышленных экзоскелетов.

По способу действия экзоскелеты классифицируют [3]:

– активные экзоскелеты, оснащенные приводами, которые получают энергию от источников питания, закрепленных на самом экзоскелете. Эти устройства, обычно с электрическими сервоприводами (также возможно применение пневматики и гидравлики), многократно увеличивают прилагаемую силу воздействия оператора на объекты и его выносливость, так как прилагаемые для управления экзоскелетом усилия минимальны.

– пассивные экзоскелеты, не требующие источника энергии для функционирования. Принцип их действия основан на базовых законах механики: за счет применения противовесов и рычагов, пассивный экзоскелет перераспределяет нагрузку на части тела. Действие пассивного экзоскелета снижает нагрузку на активные мышцы, в среднем, от 30%. Пассивные экзоскелеты бывают двух типов: персональные вспомогательные подъемные устройства (PLAD) и устройства возврата без необходимости изгиба (BNDR). Оба типа устройств состоят из рамы, которая накапливает упругую энергию при наклоне вперед, которая затем помогает человеку

продлить рабочее положение с наклоном вперед или снова выпрямить тело при поднятии предмета. Рама BNDR покрывает туловище и таз и поддерживается верхней частью ног и грудью. Рама PLAD поддерживает распределение нагрузки между позвоночником, плечами, тазом и ступнями. По способу ношения экзоскелеты можно разделить на четыре категории: для спины, для ног, для коленного сустава и для рук. Каждый из типов экзоскелета может использоваться самостоятельно или быть частью большой конструкции, состоящей из нескольких элементов. Распространенный пример — пассивный экзоскелет для спины и рук. Такой, например, используют видеооператоры для продолжительной съемки.

По сфере применения экзоскелеты классифицируют [4]:

- экзоскелеты для производства

Экзоскелеты на производстве обеспечивают свободу движений и снижают нагрузку на разные типы мышц, что позволяет работникам выполнять разные задачи – перемещать и фиксировать крупные детали, работать с мобильным и стационарными инструментами.

- экзоскелеты для строительства

Рабочие на строительных площадках вынуждены часами работать с тяжелым инструментом в неудобном положении. Например, держать над головой болгарку или перфоратор. Чтобы снизить риск получения травмы и облегчить выполнения задачи, экзоскелеты для рук и спины являются незаменимым решением.

- экзоскелеты для бега и ходьбы

Экзоскелет для бега (ходьбы) — это вспомогательное устройство, которое изменяет динамику конечностей и суставов пользователя для уменьшения усталости во время естественной ходьбы и бега. Следует отметить, что экзоскелет для бега — это именно вспомогательное устройство, что отличает его от медицинских экзоскелетов, которые помогают восстановлению двигательных функций и координации после травм и заболеваний. Может применяться почтальонами, курьерами, военными.

- медицинские экзоскелеты

Можно выделить одну общую категорию — медицинские экзоскелеты, внутри которой существует разделение на подкатегории. Это, как и в случае с моделями для производства, пассивные и активные устройства, а также на портативные (вспомогательные) и стационарные (лечебные тренажеры).

Экзоскелеты для людей с травматическим или врожденным параличом нижних конечностей оснащены моторами с аккумуляторами, благодаря им пациенты с нижней параплегией могут самостоятельно вставать, ходить и подниматься по ступенькам, то есть выполнять физические действия, которые для них невозможны без посторонней помощи.

- экзоскелеты для военных

В настоящее время разрабатываются экзоскелеты для военных, которые призваны снизить уровень нагрузки при передвижении на длительные дистанции с высокой нагрузкой.

В настоящее время принцип работы экзоскелетов универсален, только существуют различия в конструкции и способе ношения экзоскелета в зависимости от сферы деятельности.

Библиографический список

1. Экзоскелеты: принцип действия, конструкция, применение [электронный ресурс] // Блог Top 3D Shop. URL: (<https://top3dshop.ru/blog/exoskeleton-explained-review.html#tipy-ekzoskeletov>) (дата обращения: 12.09.2022).
2. Экзоскелеты, или чем могут помочь гости из будущего? [электронный ресурс] // Блог «Восток-Сервис». URL: https://group.vostok.ru/blog/ekzoskelety_ili_chem_mogut_pomochj_gosti_iz_budushchego/ (дата обращения: 12.09.2022).
3. Медицина, стройка, армия: где сегодня применяют экзоскелеты [электронный ресурс] // РБК Тренды. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/617192ae9a7947e18cfdc8aa> (дата обращения: 12.09.2022).
4. Воробьев Александр Александрович, Андрющенко Ф.А., Засыпкина О.А., Соловьева И.О., Кривоножкина П.С., Поздняков А.М. Терминология и классификация экзоскелетов // Вестник ВолГМУ. 2015. №3 (55). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/terminologiya-i-klassifikatsiya-ekzoskeletov> (дата обращения: 12.09.2022).

УДК 615.847.8

ВЫБОР ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПОЛЕФОРМИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

М.Б. Каплан

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Проведено моделирование магнитного поля, создаваемого индукторами-электромагнитами магнитотерапевтического устройства с целью определения наиболее предпочтительного расстояния между ними, обеспечивающего формирования оптимального с точки зрения выбранного критерия магнитного поля.

Ключевые слова: *полеформирующая система, индуктор-электромагнит, магнитное поле.*

SELECTION OF THE PREFERRED DISTANCE BETWEEN THE FIELD- FORMING ELEMENTS OF THE DEVICE FOR THERAPY BY MAGNETIC FIELD

M.B. Kaplan

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The simulation of the magnetic field created by the inductors-electromagnets of the magnetotherapeutic device was carried out in order to determine the most preferable distance between them, which ensures the formation of the optimal magnetic field from the point of view of the selected criterion.

Keywords: *field-forming system, inductor-electromagnet, magnetic field.*

Статистические данных подтверждают эффективность магнитотерапевтического лечения, но вопрос формирования оптимальных пространственно-временных распределений магнитного поля остается актуальным. Выбор наиболее предпочтительной конфигурации магнитного поля затруднен сложностью биологического объекта, наличием индивидуальных особенностей, отсутствием четкой схемы, раскрывающей процесс взаимодействия магнитного поля и биоструктуры. В настоящее время известен ряд характеристик магнитного поля, определяющих качество магнитотерапии – это, так называемые, биотропные параметры. В рамках проведенных в работе исследований особое внимание было направлено на биотропный параметр – модуль и вектор напряженности магнитного поля.

Согласно закону Лоренца магнитное поле оказывает силовое действие на движущиеся заряженные частицы. Рассматривая кровь в качестве движущейся жидкости, содержащей множество ионов, которые, в свою очередь, участвуют и определяют обменные процессы организма, можно сделать вывод об ускорении обменных процессов за счет силового воздействия магнитного поля на движущиеся ионы. В законе сила Лоренца пропорциональна косинусу угла между вектором магнитного поля и направлением движения заряженных частиц или другими словами нормальной составляющей векторам магнитного поля. Сила Лоренца максимальна, если направление магнитного поля перпендикулярно направлению движения частиц, а значение модуля магнитной индукции велико.

В качестве объекта воздействия была выбрана совокупность кровеносных сосудов, располагающаяся поверхностно, в которых кровь движется, также, вдоль поверхности тела. В качестве критерия оптимального магнитного поля рассматривалось суммарное значение нормальной составляющей вектора напряженности магнитного поля и модуля напряженности магнитного поля в области воздействия. Исходная полеформирующая система была представлена двумя индукторами-электромагнитами с формой и габаритными размерами соответствующими излучателям проектируемого магнитотерапевтического аппарата «RelaxMAG» [1]. Целью моделирования являлся поиск предпочтительного расстояния между индукторами при их соосном расположении. Расчет составляющих вектора напряженности магнитного поля проводился на базе скалярного магнитного потенциала [2]. Математическое моделирование и расчеты велись в среде MathCAD и среде LabVIEW. Размер области воздействия задавался равным 150x150 мм, что соответствует области локального действия отдельных индукторов-

электромагнитов магнитотерапевтических аппаратов серии «Мультимаг». Расчет магнитного поле выполнялся в плоскостях, располагающихся на расстоянии 10-20 мм от поверхности индукторов. Результаты моделирования представлены на рисунке. Для сравнения разнородных показателей их амплитудные значения были пронормированы. Также расстояние между торцевыми поверхностями индукторов были пронормированы относительного габаритного размера «высота» индуктора.

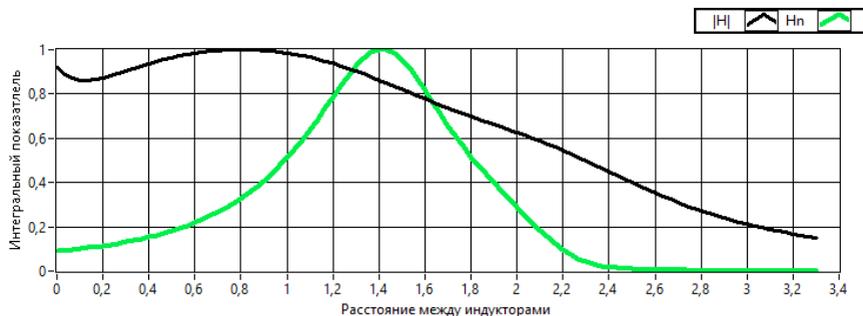


Рисунок – Зависимости биотропных показателей магнитного поля в области воздействия

Анализ показал, что оптимальными расстояниями между торцевыми поверхностями индукторов, расположенных соосно, для получения максимального значения модуля и нормальной составляющей вектора напряженности магнитного поля в области воздействия являются 0,8 и 1,42. Полученные данные предполагается использовать для оптимизации магнитотерапевтических ячеек магнитотерапевтического аппарата «RelaxMAG».

Библиографический список

1. Патент № 2768467 Российская Федерация, МПК А61N 2/04 (2006.01). Устройство для магнитотерапевтического воздействия: N 2021107241: заявл. 18.03.2021; опубликовано 24.03.2022, Бюл. № 9 / Гуржин С.Г., Жулев В.И., Каплан М.Б. и др.; заявитель ФГБОУ ВО «РГТУ».
2. Демирчян К.С., Чечурин В.Л. Машинные расчеты электромагнитных полей. – М.: Высшая школа, 1986. – 240 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА «КОНТРОЛЬНЫЙ ЛИСТОК» ДЛЯ АНАЛИЗА ГИБЕЛИ КЛЕТОК

Т.П. Евтеева

ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов

Рассмотрены аспекты применения инструмента «контрольный листок» для биологической системы. Приведен пример использования данного инструмента при описании гибели клетки.

Ключевые слова: контрольный листок, клеточная гибель, контроль качества.

APPLICATION OF THE QUALITY CONTROL TOOL «CHECKLIST» FOR CELL DEATH ANALYSIS

T.P. Evteeva

Saratov State University, Saratov

The aspects of using the «checklist» tool for a biological system are considered. An example of the use of the checklist tool in the description of cell death is given.

Key words: checklist, cell death, quality control.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что проблема вымирания клетки является важным звеном нормального гистогенеза.

Контрольный листок – инструмент для сбора данных и их автоматического упорядочения для облегчения дальнейшего использования собранной информации.

Применение любого статистического метода начинается со сбора данных и их упорядочения. Именно контрольный листок, который относится к «семи инструментам контроля качества», позволяет осуществить сбор и предварительную систематизацию данных. Кроме того, универсальность как контрольного листка, так и семи инструментов контроля качества в целом позволяют применить их для любых объектов, в том числе для биологических систем [1].

Контрольный листок – это бланк, на котором заранее нанесены названия и диапазоны контролируемых показателей. Форма контрольного листка разрабатывается в соответствии с конкретной производственной ситуацией. Применяются различные виды контрольных листов, как для регистрации видов несоответствий, так и для регистрации выбранных параметров.

Для описания возможностей применения инструмента «контрольный листок» для биологической системы, был выбран анализ вымирания клетки.

Существуют значительные сложности в разработке рациональной классификации всех видов клеточной гибели [2].

Согласно одной из классификаций, все варианты гибели могут быть разделены на три группы [3]:

1. Гибель, проявляющаяся уменьшением объёма цитоплазмы, кариопикнозом, вакуолизацией цитоплазмы с органеллами, и фагоцитозом образованных вакуолей соседними клетками.

2. Тотальная цитоплазматическая вакуолизация с лизосомальным уничтожением образованных вакуолей и их содержимое, что характерно для аутофагии.

3. Гибель клетки, не сопровождающаяся вышеописанным изменениями с последующим удалением погибших клеток без участия лизосом и фагоцитов.

Другая классификация разделяет источники клеточной гибели по другим признакам (рисунок 1).



Рис. 1 – Классификация клеточной гибели [3]

Составленный бланк контрольного листка, позволяющего изучить причины гибели клеток в количественном выражении, приведен в таблице 1.

Данный контрольный листок составлен таким образом, чтобы облегчить исследователю регистрацию причин гибели клеток, провести предварительный анализ наиболее частных причин указанного явления и в последующем провести более полный анализ с применением других инструментов контроля качества.

Таким образом, показана возможность применения инструментов контроля качества для анализа биологических систем. В данном случае использовался такой инструмент, как контрольный листок, с помощью

которого планируется проведение анализа причин гибели клеток в количественном выражении.

Таблица 1

Бланк контрольного листка для описания причин гибели клеток

Контрольный листок для регистрации причин гибели клеток		
ФИО исследователя:		
Дата сбора данных:		
Вид причины вымирания	Группы данных	Всего
Аноиксис		
Корнификация		
Пироптоз		
Внешний путь апоптоза		
Аутофагия		
Прочие		
Итого		

Библиографический список

1. Винокурова С.А. Об использовании средств и методов управления качеством в образовательной деятельности // Педагогическое взаимодействие: возможности и перспективы: материалы I науч.-практ. конф. с междунар. участием; Саратов. гос. мед. ун-т. Саратов: Изд-во Саратов. гос. мед. ун-та, 2019. С. 527-531.
2. Данилов Р.К. Общие принципы клеточной организации, развития и классификации тканей // В кн.: Руководство по гистологии. Изд.СПб.: «СпецПит», 2011. 560 с. С. 98-123.
3. Galluzzi L.A., Vitale L., Aaronson S. Molecular mechanisms of cell death recommendation of the Nomenclature Committee on Cell Death, 2018\$ 25(3). 486-501.

УДК 004.942, 615.47

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕГУЛЯЦИИ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ ПОСТУРАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Т.В. Сергеев, А.А. Анисимов

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

Рассмотрена модель на основе четырех параллельно соединенных динамических звеньев, предназначенная для изучения реакций кардиоваскулярной системы, проявляющихся в изменения сердечного ритма в ответ на постуральную нагрузку.

Ключевые слова: *постуральные воздействия, кардиоваскулярная система, вариабельность сердечного ритма, полосовая фильтрация.*

MODELING OF HEMODYNAMIC REGULATION PROCESSES UNDER POSTURAL LOADS

T.V. Sergeev, A.A. Anisimov

St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI", named after
V.I. Ulyanov (Lenin), St. Petersburg

Considered a model based on four dynamic elements connected in parallel, designed to study the response of the cardiovascular system, manifested by changes in heart rate in response to postural load.

Key words: *postural load, cardiovascular system, heart rate variability, band-pass filtration.*

Постуральные воздействия (ПВ) – это действия, связанные с перемещением- тела человека, расположенного на специальном ложе стола. Испытуемый при этом находится в расслабленном пассивном состоянии, поскольку располагается на ложе с надежно зафиксированными конечностями. Под простыми постуральными воздействиями подразумеваются однократные перемещения человека в одной плоскости с постоянной угловой скоростью [1].

Для простых ПВ возможны два варианта: подъём из горизонтального состояния в вертикальное, головой вверх (Head Up Probe) и опускание из горизонтального положения головой вниз (Head Down Probe). Одновременно с изменением положения тела проводится регистрация и анализ набора физиологических показателей исключительно в статических (начальном и конечном) положениях. Первый вариант используется при проведении тилт-тестов (Head Up Tilt Test), и уже более полувека используется физиологами и врачами для изучения адаптации сердечного ритма и артериального давления к изменениям положения [2]. Второй вариант простых постуральных нагрузок– Head Down Probe – широко применяется с 70-ых годов прошлого века и появился ещё на заре развития космической медицины, где первоначально использовался для имитации воздействию невесомости на организм испытуемого.

Под сложными постуральными воздействиями подразумеваются многократные, в частности, периодические знакопеременные (вверх-вниз головой относительно линии горизонта) перемещения испытуемого в различных плоскостях и с различной скоростью. В наших исследованиях применяется специализированный стол-вертикализатор, позволяющий осуществлять перемещение испытуемого с заданной скоростью под углом до ± 10 градусов, то есть обеспечивать полноценные периодические знакопеременные колебания.

В качестве конкретной модели для изучения реакций кардиоваскулярной

системы, проявляющихся в изменения сердечного ритма в ответ на ПВ, предложена модель на основе четырех параллельно соединенных динамических звеньев второго порядка (рис. 1). Выбор схемы основан на представлении о регуляции кардиоваскулярной системы как о взаимодействии несимметрично связанных осцилляторов. Три из четырех динамических звеньев представляют собой полосовые фильтры второго порядка (они названы: "BP HF", "BP LF" и "BP VLF"). Четвертое динамическое звено ("LP UVLF") представляет собой фильтр нижних частот второго порядка. Значения параметров для динамических звеньев выбраны в соответствии с четырьмя стандартными частотными диапазонами variability сердечного ритма.

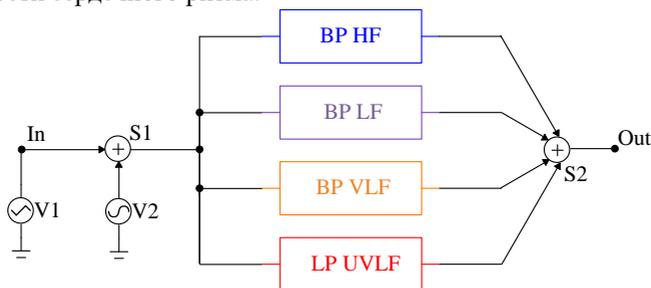


Рис.1 – Структурная схема модели для изучения реакций кардиоваскулярной системы

Очевидно, что значения коэффициентов динамических звеньев могут варьироваться в зависимости от особенностей изучаемой модели. Значения могут быть выбраны, например, по результатам частотного анализа кардиоритмограммы конкретного человека. Сигналы с выхода динамических звеньев суммируются сумматором S2. На вход модели подаётся сигнал, состоящий из суммы двух сигналов. Генератор V1 ПВ в виде знакопеременного треугольного сигнала, симметричного относительно изолинии. Генератор V2 имитирует дыхательную нагрузку в виде знакопеременного синусоидального сигнала симметричного относительно изолинии. В результате каждое из динамических звеньев выделяет частотную составляющую, соответствующую своей полосе пропускания, а сумма этих составляющих формирует сигнал на выходе модели.

Для оценки полученных результатов было проведено сопоставление реакций модели и данных об изменении частоты сердечных сокращений (ЧСС) здорового молодого испытуемого при проведении поструральных нагрузок. Постуральные воздействия проводились по стандартной методике (угол наклона $\pm 10^\circ$, период качаний 60 с). График изменений значений ЧСС, зарегистрированный у одного из испытуемых в течение 300 с, представлен на рис. 2. График изменения угла наклона показан на том же рисунке в виде треугольников.

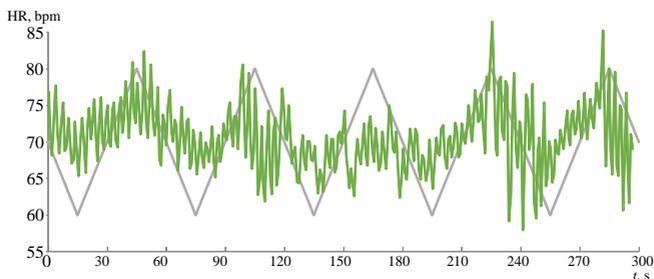


Рис. 2 – Изменения значений ЧСС при постуральных воздействиях

Для более детального сравнения сигналов реальный сигнал был разложен с помощью того же набора фильтров, который использовался для синтеза модельного сигнала. Ранее авторами было показана эффективность подобного подхода [3]. Значимые составляющие сигнала проявляются на выходе всех четырех динамических звеньев, т.е. в четырех частотных диапазонах. Подобно реакциям звеньев модели дыхательная нагрузка в наибольшей степени проявляется на выходе звена ВР HF, составляющие сигнала постуральной нагрузки – звена ВР VLF.

Таким образом, применение схемы из нескольких полосовых и низкочастотного фильтров при моделировании и оценке обеспечивает одновременный анализ во временной и в частотной областях, периодическая модельная и реальная нагрузка вызывает квазипериодический ответ от тех или иных контуров регуляции кардиоритма, а сравнение модельных и реальных изменений ЧСС позволяет оценить их вклад в реакцию системы регуляции кардиоритма, в результате формируется индивидуальная подстраиваемая модель.

Библиографический список

1. Bhaskaran, S. Effects of gravity and posture on the human cardiovascular system / S. Bhaskaran, S. Mondal, S. Jagtap, P. Vidyasagar // International Journal of Integrative Biology (IJIB). – 2009. – Vol. 5. – No. 3. – P. 171-175.
2. Vernon, H. Inversion therapy: a study of physiological effects / H. Vernon, J. Meschino, J. Naiman // The Journal of the CCA. 1985. – V. 29, N. 3. – P. 135–140.
3. Belov A.V., Anisimov A.A., Sergeev T.V., Suvorov N.B. Tunable band-pass filter for continuous spectral analysis of cardiointervalogram // Journal of Physics: Conference Series, International Scientific Conference "Metrological Support of Innovative Technologies - ICMSIT-2020": Vol. 1515, Apr, 2020. doi:10.1088/1742-6596/1515/5/052064

МОДЕЛЬ БЫСТРОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

А.А. Анисимов, А.А. Навроцкая, А.И. Скоробогатова
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

Рассмотрена модель краткосрочной регуляции артериального давления, предназначенная для решения проблемы косвенной оценки артериального давления на основе электродинамических аналогий. Для проверки модели были использованы реальные записи сигналов непрерывного артериального давления, электрокардиограммы и объёма сердечного выброса.

Ключевые слова: артериальное давление, барорецепторный рефлекс, модель Frank's Windkessel, частота сердечных сокращений, сердечный выброс.

MODEL OF RAPID BLOOD PRESSURE CONTROL BASED ON EXPERIMENTAL DATA

A.A. Anisimov, A.A. Navrotskaya, A.I. Skorobogatova
St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI", named after V.I. Ulyanov (Lenin), St. Petersburg

A model of short-term blood pressure regulation, designed to solve the problem of indirect estimation of blood pressure based on electrodynamic analogies, has been considered. Real recordings of continuous blood pressure signals, electrocardiogram and cardiac output volume were used to test the model.

Key words: blood pressure, baroreceptor reflex, Frank's Windkessel model, heart rate, cardiac output.

Одним из самых быстрых и эффективных механизмов регуляции артериального давления, действующих в течение нескольких секунд, является барорефлекс. В основе самой известной модели барорецепторного механизма регуляции артериального давления (АД) лежит математическая модель, построенная на электродинамических аналогиях. Прародителем таких аналогий считается гидродинамическая модель или Frank's Windkessel Model (WK), представленная немецким физиологом Отто Франком, позднее были предложены и электродинамические аналогии [1].

WK модель – это достаточно простая модель, состоящая из двух основных элементов: конденсатора C (моделирующего общую артериальную эластичность) и резистора R (общее периферическое сопротивление). 3 WK модель лучше имитирует кривую артериального давления, так как добавляется элемент r (аортальное сопротивление кровотоку). 4WK модель является наиболее реалистичным приближением к реальной биологической системе, так как, в дополнение к предыдущим добавляется элемент L (общее артериальное инерционное сопротивление). Однако даже у 4 WK модели

сохраняется недостаток, связанный с обратным кровотоком. Решением стало использование управляемого напряжением ключа, имитирующего работу клапана левого желудочка, который отслеживает текущий уровень напряжения на выходе благодаря узлу отрицательной обратной связи. При сумме меньше нуля ключ переходит в закрытое состояние, напряжение на выход цепи не поступает, что соответствует работе клапана. Схема такой модели, разработанной в Matlab Simulink, представлена на рис.1.

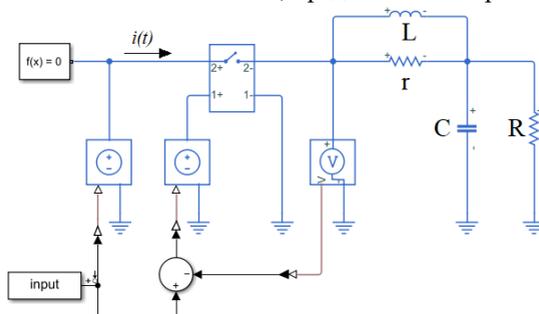


Рис. 1 – Четырехэлементная модель с ключом, управляемым напряжением

Для проверки работоспособности модели и возможности её применения для моделирования системы краткосрочной регуляции АД были сгенерированы на основе реальных данных тестовые сигналы, симулирующие поток крови через аорту. За основу была взята формула 1, предложенная в работе [2].

$$i(t) = \begin{cases} I_0 \times \sin^2\left(\frac{\pi \cdot t}{T_s}\right), t \in \{0, T_s\} \\ 0, t \in \{T_s, T\} \end{cases} \quad (1)$$

где I_0 – пиковая амплитуда объемной скорости выброса крови (ОСВК), мл/сек; t – текущий момент времени в секундах, T_s – период систолы в секундах в течение одного сердечного цикла, T – период сердечного цикла в секундах.

На рис. 2 представлен один из полученных данным методом график входного воздействия – график, симулирующий кривую ОСВК из левого желудочка в аорту в течение 10 полных циклов для одного из испытуемых, участвовавших в эксперименте. В результате моделирования с использованием тестовых входных воздействий было установлено, что в зависимости от изменяющегося параметра изменяется и время задержки между пиками входного воздействия и пиками кривой вариабельности систолического АД, полученной на выходе модели. Подробное исследование данного вопроса приведено в работе [3]. Таким образом, рассматриваемая модель может быть использована для дальнейших исследований, а именно – изучение реакции модели на входные воздействия, сформированного на

основе реальных сигналов.

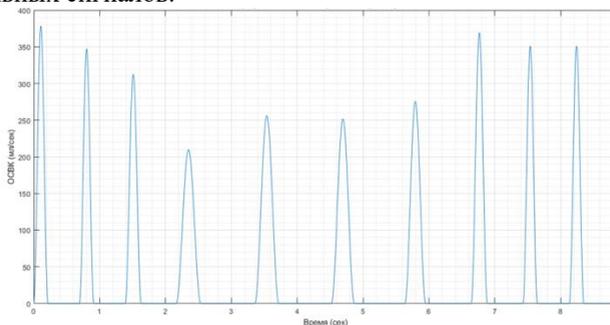


Рис. 2 – График ОСБВ, сгенерированный на основе реальных сигналов

При подаче сгенерированных входных воздействий, полученных на основе записей сигналов с реографа Диамант-Р (УО) и комплекса «Кардиотехника-САКР», предназначенного для измерения поударных значений АД методом разгруженной артерии с пяти испытуемых, были получены графики смоделированной варибельности АД для каждого из них. Для более точной оценки взаимозависимости были рассчитаны взаимные корреляционные функции между смоделированными и реальными значениями АД с комплекса САКР.

По результатам исследования взаимосвязи варибельности и исследования корреляции модели была получена следующая зависимость: у испытуемых, не имеющих в анамнезе заболеваний, связанных с регуляцией АД, относительны высокие значения корреляции в обоих случаях, у испытуемых, имеющих в анамнезе такие патологии (нарушения сердечного ритма, повышенное АД), наблюдается неоднозначный результат, что может быть связано с нарушенной чувствительностью барорефлекторной системы регуляции АД, когда краткосрочной регуляцией занимаются другие системы, которые могут либо компенсировать влияние барорецепторного механизма, либо полностью его заменять. Таким образом, прежде чем проводить моделирование механизмов краткосрочной регуляции АД, нужно проверить чувствительность барорецепторной системы конкретного испытуемого, так как при низкой чувствительности модель работать не будет.

Библиографический список

1. Westerhof N., Elzinga G., Sipkema P. An artificial arterial system for pumping hearts // Journal of Applied Physiology. – 1971. – № 31. – P. 776–781.
2. Hauser J., Parak J., Lozek M., Havlik J. System Analyze Of The Windkessel Models // Department of Circuit Theory, Faculty of Electrical Engineering, CTU in Prague. – 2013.
3. Navrotskaia A.A., Anisimov A.A. Simulation of Blood Flow Parameters Using Frank’s Windkessel Model of the Arterial System // EIConRus, 2022. – P. 25–28.

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ КОМПАКТНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО МЕДИЦИНСКОГО ТРЕНАЖЕРА- СИМУЛЯТОРА

М.А. Сидорова¹, С.О. Зюзин²

¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»
(ПензГТУ)

²ООО «Сария Био-Индастрис Алабуга»

Статья посвящена актуальной теме создания компактного многофункционального медицинского тренажера-симулятора. Главной целью является проведение обзорной систематизации сведений о уже существующих тренажерах, анализ основных функций и характеристик, определение основных узлов и элементов тренажера, а также, создание тестового макетного образца тренажера.

Ключевые слова: *тренажер-симулятор, спектральный диапазон снимаемых сигналов, роботизированные технологии, имитация нормы и патологии состояний.*

FEATURES OF CREATING A COMPACT MULTIFUNCTIONAL MEDICAL SIMULATOR

M.A. Sidorova¹, S. O. Zyuzin²

¹Penza State Technological University (PenzSTU)

²LLC "Saria Bio-Industries Alabuga"

The article is devoted to the topical topic of creating a compact multifunctional medical simulator . The main goal is to conduct an overview systematization of information about existing simulators, analyze the main functions and characteristics, identify the main components and elements of the simulator, as well as create a test model of the simulator.

Keywords: *simulator , spectral range of captured signals, robotic technologies, simulation of the norm and pathology of conditions.*

У современных образовательных учреждений повысился интерес к робототехнике и роботизированным технологиям в учебном процессе. Однако современные медицинские стандарты в большей мере усложняют доступ студентов медицинских вузов к пациентам, поэтому спрос на учебные роботы тренажеры возрос в разы. Симуляция в современном медицинском образовании рассматривается как «технология обучения и оценки практических навыков, умений и знаний, основанная на реалистичном моделировании, имитации клинической ситуации или отдельно взятой физиологической системы, для чего могут использоваться биологические, механические, электронные и виртуальные (компьютерные) модели» [1].

Конструктивно (рисунок 1) большинство тренажеров-симуляторов выполнены из пластика, металла, силикона, либо других современных

материалов. Отработка моторных навыков у обучающихся при выполнении разнообразных медицинских манипуляций (инъекции, пункции, катетеризации и т.д.) является главной целью функционирования таких тренажеров.

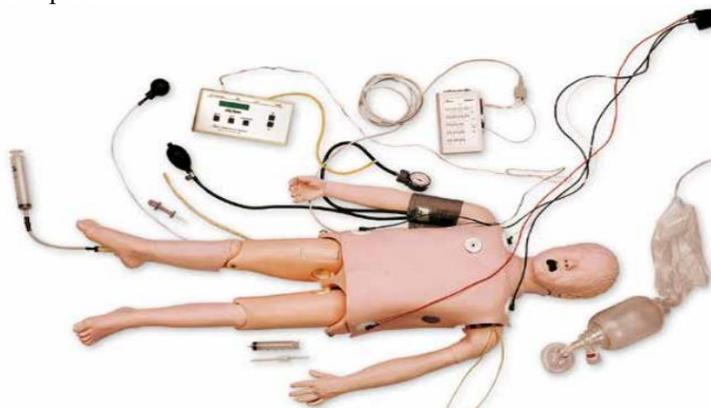


Рис. 1

В настоящее время существует множество симуляторов и тренажеров для обучения медицинского персонала проведению искусственной вентиляции легких и других манипуляций. В состав тренажеров, в большинстве случаев, входят датчики и различные электронные компоненты, которые выполняют некоторые заданные функции. Однако несмотря на огромное количество симуляторов и тренажеров в импортном и российском исполнении актуальной является задача комбинирования функционала. Комбинирование функционала – это, по мнению авторов статьи, объединение различных функций в одном тренажере, например, имитация дыхания, сердцебиения, генерация электрических импульсов. Все указанные функции можно объединить в воспроизведении электрокардиосигнала, либо баллистокардиосигнала, либо кинетокардиосигнала [1].

Современные тренажеры способны имитировать множество «норм» и «патологий» состояний пациентов, связанных с заболеваниями сердца и легких, генерировать звуки и сигналы, позволяющие диагностировать заболевания. Подробный анализ данных о тренажерах и симуляторах позволяет выявить наряду с несомненными достоинствами и ряд недостатков. Прежде всего, недостатками являются: высокая стоимость, большие габаритные размеры, необходимость в подключении дополнительных устройств для обеспечения многофункциональности. Отмеченные недостатки, по мнению авторов статьи, указывают на необходимость разработки компактного стендового тренажера-симулятора.

Основной целью применения многих медицинских тренажеров является обучение персонала и отработка необходимых навыков. Авторы статьи предлагают модель тренажера, которая будет использоваться не только в обучении студентов медицинских вузов и практикующих медицинских

работников на курсах повышения квалификации, но и для обучающихся по направлениям медико-технического профиля. Например, разработанный тренажер-симулятор может быть использован для обучения студентов по направлению подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии».

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести обзорную систематизацию сведений о современных симуляторах и тренажерах;
- выбрать и обосновать конструкцию устройства;
- провести анализ основных функциональных характеристик тренажера;
- определить основные узлы и элементы тренажера;
- собрать предварительный макет тренажера.

В макете тренажера-симулятора следует предусмотреть возможность воспроизведения различных патологий сердечного ритма и дыхательной системы, генерируемые с помощью серводвигателя [2]. Особое внимание при создании макета следует уделить вопросу уменьшения стоимости товарных образцов за счет использования более дешевых аналогов и применения технологий, исключаящих импорт. Использование более распространенных полимеров в изготовлении корпуса, а также применение эффективных, наукоемких электронных компонентов позволит облегчить задачу создания макета.

В процессе исследования преимуществ и недостатков аналогов разработки следует обратить внимание на минимизацию электронных компонентов, составляющих основной энергозатратный ресурс в производстве, а именно использование так называемой «обучаемой микросхемы» с помощью которой управляются все режимы работы устройства (то есть включить в состав каждого режима работы по несколько функциональных единиц). Например, при выборе режима нарушения сердечного ритма по типу брадикардии, добавить в алгоритм работы устройства еще и брадипноэ (урежение числа дыхательных движений за счет угнетения дыхательного центра), а также ослабление силы сердечных сокращений. Таким образом, объединяются сразу три показателя в одном режиме. Объединение функционалов влечет за собой более комплексную оценку тяжести состояний, точное определение диагностических особенностей и уточнение поставленного диагноза. Так как в основе изготовления корпуса (торса) тренажера лежит использование полимерных материалов, то предусматривается отработка навыка правильного расположения точек наложения электродов, но без разметок, определяющих правильность. Спектральный диапазон снимаемых сигналов будет составлять 1 кГц, что позволит более точно их воспроизводить, а также макетный образец возможно оснастить встроенными электродами, что, в дальнейшем, будет способствовать совершенствованию конструкции устройства [1;3].

Таким образом, материал статьи позволяет сделать вывод о том, что разработка недорогого, компактного и многофункционального тренажера-

симулятора для нужд учебного процесса медико-технических специальностей и направлений является актуальной и перспективной задачей.

Библиографический список

1. Сидорова М.А., Сержантова Н.А. (2020) Способ формирования Математические модели измеренных электрофизиологических сигналов. В: Тезисы Московского семинара 2020 года по электронным и сетевым технологиям Технологии (МВЕНТ), Высшая школа экономики, Москва 11 – 13 Март.
2. Чулков В.А. (2015) Цифро-аналоговый генератор шума. Инструменты и методы эксперимента 3: 61-64.
3. Зудбинов Ю. И. (2018) Азбука электрокардиографии и сердечной боли. Феникс, Ростов-на-Дону.

УДК 004.93'14

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Д.Р. Батраков

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрены общие принципы построения математических моделей сложных технических объектов.

Ключевые слова: математическое моделирование, построение математических моделей.

MATHEMATICAL MODELING OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS

D.R. Batrakov

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The general principles of constructing mathematical models of complex technical objects are considered.

Key words: mathematical modeling, construction of mathematical models.

Понятие “математическое моделирование” получило широкое распространение в последние десятилетия в естественно-научной и технической литературе и, в настоящее время, оформилось в отдельную междисциплинарную область знаний. Математическое моделирование опирается на взаимосвязь законов фундаментальных наук и математики с прикладными науками - численным анализом и информатикой.

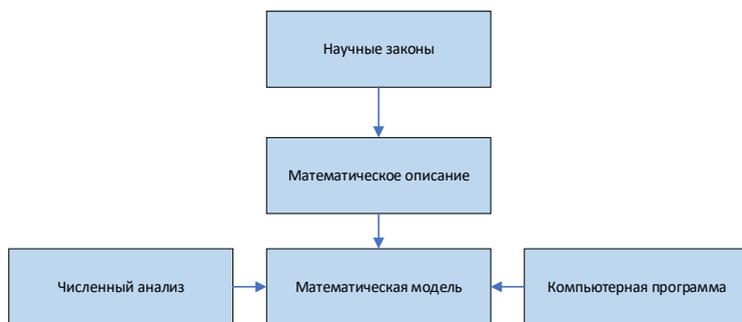


Рис.1 – Взаимосвязь математической модели с фундаментальными науками

Как правило, математическое моделирование технических объектов состоит из следующих этапов:

- Построение самой математической модели.
- Проверка математической модели.
- Использование математической модели при анализе и синтезе различных объектов.
- Рассмотрим подробнее данные этапы.
- Построение математической модели.

Наиболее распространенный метод построения моделей состоит в применении фундаментальных законов природы к конкретной ситуации. На первый план выдвигаются вопросы, связанные с тем, какой закон (законы) следует применять в данном случае и как это делать.

Построение математических моделей является достаточно сложным процессом и осуществляется последовательно по четырем этапам:

Первый этап. Выделяются законы определяющие важнейшие характеристики объекта, влияющие на поведение объекта.

Второй этап. Происходит математическое описание выделенных, существенно влияющих, закономерностей. Обычно математические модели технических объектов разделяют на уровни, по мере детализации рассмотрения физических законов.

Математическое моделирование на макроуровне предполагает использование систем обыкновенных дифференциальных уравнений с заданными начальными условиями. Такие системы формируются на основе так называемых компонентных уравнений, описывающих физические законы функционирования отдельных элементов, и топологических уравнений связей между элементами технического объекта.

При математическом моделировании на микроуровне основой являются системы дифференциальных уравнений с частными производными, описывающие процессы в физических средах с заданными граничными условиями. В любом случае важно, чтобы в окончательной формулировке система уравнений математической модели со всеми начальными,

граничными и другими дополнительными условиями имела единственное решение.

Третий этап. Анализируются существующие методы решения составленных уравнений математических моделей, чаще всего существующие методы решения находятся приближенно с использованием методов аппроксимации и численного анализа.

Четвертый этап. Осуществляется разработка алгоритма и составление программы расчетов с учетом типа компьютера. Наилучшим подходом является компромисс между затратами на подготовку задачи, ее решение и обработку результатов [1].

После построения исходной математической модели оценивается степень ее обоснованности. При этом следует проверить адекватность воспроизведения на модели интересующих характеристик технического объекта.



Рис. 2 – оценка обоснованности математической модели

Иными словами, необходимо подтвердить, что решение модели является качественным и достаточно точным для достижения тех целей, ради которых выполняется математическое моделирование. Проверка адекватности модели обычно производится в порядке, обратном ее построению. Вначале оценивается соответствие возможностей используемого компьютера алгоритму решаемой задачи. Проверяется устойчивость и точность численного решения уравнений, описывающих интересующие процессы в техническом объекте. Затем анализируется степень влияния принятых к рассмотрению физических факторов на поведение объекта.

На каждом этапе проверки в случае неудовлетворительных результатов производится модификация математических моделей. После внесения в модель соответствующих изменений вновь производится проверка ее на адекватность. Если в процессе обоснования и модификации модель будет признана адекватной, то она считается готовой к практическому использованию [2].

Обоснованная математическая модель может быть использована при анализе и синтезе различных объектов. Для решения задач анализа свойств технических объектов функциональная математическая модель используется автономно и позволяет прогнозировать поведение объекта в зависимости от совокупности параметров и внешних воздействий.

Библиографический список

1. Введение в математическое моделирование: Учебное пособие. Под ред. П.В. Трусова, 2005.
2. Самарский, А. А., Михайлов А. П., Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., Физматлит, 2001.

УДК 90.01.11

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ

П.А. Агеев, Н.И. Иванова

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь

В докладе рассматривается деятельность метрологической службы в медицинских организациях. Анализируется несоответствие между двумя главными организациями – Росстандарт и Минздрав России. Даны решения по существующей проблеме в сфере метрологического обеспечения медицинской техники.

Ключевые слова: *поверка, медицинская техника, метрологическое обеспечение.*

METROLOGICAL SUPPORT OF MEDICAL EQUIPMENT

P.A. Ageev, N.I. Ivanova

Tver State Technical University, Tver

The report examines the activities of the metrological service in medical organizations. The discrepancy between the two main organizations – Rosstandart and the Ministry of Health of Russia is analyzed. Solutions are given to the existing problem in the field of metrological support of medical equipment.

Keywords: *verification, medical equipment, metrological support.*

Метрологическое обеспечение медицинской техники – это неотъемлемая составляющая любой медицинской организации. В медицинских организациях предусматривается наличие разработанного и утвержденного положения, где прописывается чёткая последовательность и обязанность специалистов, которые отвечают за проведение, контроль (периодический, текущий) технического обслуживания, графиков поверки средств измерений. На основании нормативной и эксплуатационной документации медицинской

техники и разрабатывается организация и порядок проведения технического обслуживания, виды технического обслуживания представлены на рисунке 1.

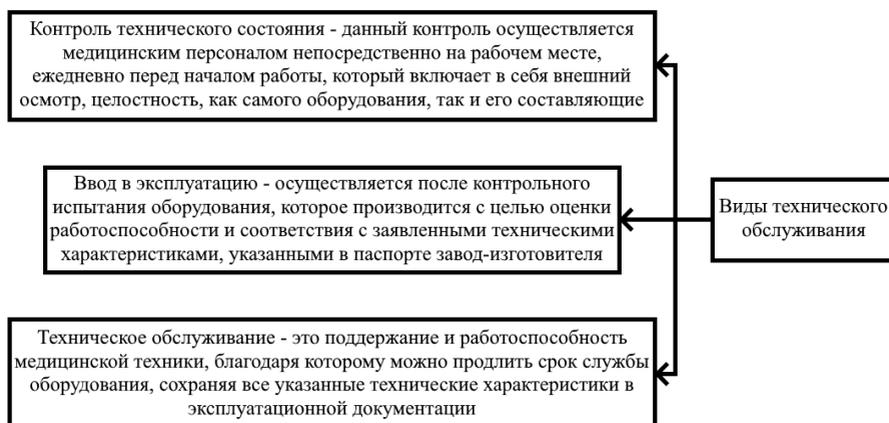


Рис. 1 – Виды технического обслуживания

Цель исследования – определить характеристики метрологического обеспечения, которые связаны с здравоохранением и на основе полученных данных предложить решение, которое поспособствует улучшению работы метрологических служб в медицинских организациях.

Федеральный закон от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» выделяет девятнадцать сфер регулирования, одной из которых является сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений в области здравоохранения. Во многих сферах присутствуют какие-либо исключения, в данном случае – Приказы, которые относятся сразу и к средствам измерений и об измерениях, рассматриваемые ниже [1]:

1) Приказ Министерства здравоохранения от 15.08.2012 г. №89н «Об утверждении Порядка проведения испытаний в целях утверждения типа средств измерений, а также перечня медицинских изделий, относящихся к средствам измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, в отношении которых проводятся испытания в целях утверждения типа средств измерений».

2) Приказ от 21.02.2014 года № 81н «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, выполняемых при осуществлении деятельности в области здравоохранения, и обязательных метрологических требований к ним, в том числе показателей точности измерений».

Приказ № 89н представляет собой список изделий медицинской техники, относящиеся к средствам измерений, подлежащие поверке [2].

Приказ № 81н представляет собой список измерений, которые используются в здравоохранении, а так же требования к точности этих измерений [3].

Но ни в одном из данных Приказов не описывается связь между ними, однако виды измерений соотносятся со средствами измерений. Из-за этого возникает некое противоречие – будет ли любое изделие медицинской техники являться средством измерений, если в Приказе № 89н оно отсутствует, как таковое, но осуществляет измерения, описанные в Приказе №81н?

Также, перед приобретением медицинской техники, важно помнить, что не все виды зарегистрированы и разрешены к использованию на территории Российской Федерации. На сайте, государственном реестре медицинских изделий можно всегда найти информацию о поставщиках медицинских изделий, узнать имеется ли в наличии на рынке, особенности изделия и т.д. Росздравнадзор в этом же разделе регулярно публикует информационные письма об отзыве с рынка или приостановлении обращения тех или иных медицинских изделий. В приобретении соответствующей стандартам медицинской техники и изделий непосредственно несёт та медицинская организация, которая закупила изделия медицинского назначения.

Результаты исследования. Еще с 2012 года специалисты метрологических служб совместно с Минздравом России и Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии стараются создать единые нормы и правила, однако, вплоть до сегодняшнего времени, этого сделать так и не удалось.

Исходя из выше описанного, нами предлагается:

1. Сделать обязательной проведение калибровки медицинской техники в организациях здравоохранения. Это позволит расширить ассортимент используемого измерительного оборудования в медицинских организациях, а значит, расширит спектр оказываемых услуг.

2. Ввести процедуру согласования нормативных документов на используемую медицинскую технику в здравоохранении между Минздравом России и Росстандартом. Это позволит создать единую правовую и регуляторную политику для производителей медицинской техники и медицинских организаций.

Библиографический список

1. Закон «Об обеспечении единства измерений от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902107146>.
2. Приказ Министерства здравоохранения от 15.08.2012 г. №89н «Об утверждении Порядка проведения испытаний в целях утверждения типа средств измерений, а также перечня медицинских изделий, относящихся к средствам измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, в отношении которых проводятся испытания в целях

утверждения типа средств измерений» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902365077>.

3. Приказ от 21.02.2014 года № 81н «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, выполняемых при осуществлении деятельности в области здравоохранения, и обязательных метрологических требований к ним, в том числе показателей точности измерений» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/499080279>.

УДК 90.01.11

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ И МЕТОДИКИ АТТЕСТАЦИИ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

К.Ф. Муравьева, Н.И. Иванова

ФГБОУ ВО «Тверской государственной технический университет», г. Тверь

В докладе рассматривается проблема аттестации испытательного оборудования, используемого для медико-биологических исследований. Раскрыты особенности разработки программы и методики аттестации на испытательное оборудование. Выделены и охарактеризованы основные теоретические аспекты и перечислены два этапа разработки программы и методики аттестации.

Ключевые слова: *испытательное оборудование, аттестация оборудования, испытание, программа и методика испытаний.*

RELEVANCE OF THE PROGRAM DEVELOPMENT AND METHODS OF CERTIFICATION FOR TEST EQUIPMENT

K.F. Muravyeva, N. I. Ivanova

Tver State Technical University, Tver

The report examines the problem of certification of test equipment used for biomedical research. The features of the development of the program and methodology of certification for test equipment are disclosed. The main theoretical aspects are highlighted and characterized, and two stages of the development of the certification program and methodology are listed.

Keywords: *testing equipment, equipment certification, testing, testing program and methodology.*

В современном мире качество выпускаемой продукции определяет конкурентоспособность предприятия, его устойчивое развитие. Качество – главный фактор реализации товара по выгодной цене. Обеспечение качества выпускаемой продукции и услуг является основной целью метрологии, стандартизации и сертификации.

Для того чтобы убедиться, что продукт «сделан правильно», необходимо знать, каким требованиям он должен соответствовать и как можно получить надежные доказательства этого соответствия. Сертификация считается основным надежным способом подтверждения соответствия продукции (процесса, услуги) заданным требованиям.

Аттестация испытательного оборудования – это определение нормированных точностных характеристик испытательного оборудования, их соответствия требованиям нормативных документов и установление пригодности этого оборудования к эксплуатации. Основная цель аттестации испытательного оборудования – это подтверждение характеристик испытательного оборудования и возможности воспроизведения условий испытаний продукции или определенных видов испытаний в заданных пределах с допускаемыми отклонениями и установление пригодности использования испытательного оборудования в соответствии с его назначением [1].

Актуальность разработки программы и методики аттестации заключается в том, что многие производители испытательного оборудования чаще всего не разрабатывают данный документ при продаже своего оборудования.

В ряде случаев технические устройства, относящиеся к лабораторному оборудованию по действующей классификации, в соответствии с регламентированной методикой испытаний (измерений, анализов) используются для воспроизведения условий испытаний (измерений, анализов). Например, термостаты, сушильные шкафы могут быть использованы для воспроизведения нормируемых в документации условий испытаний объекта, в частности, для поддержания стабильной температуры при испытаниях с нормируемой погрешностью; в этих случаях указанные термостаты и (или) сушильные шкафы следует отнести к испытательному оборудованию. Существуют два критерия, по которым лабораторное и вспомогательное оборудование можно отнести к испытательному оборудованию:

- назначение этого оборудования;
- наличие нормированных технических характеристик для воспроизведения условий испытаний.

Центрифуга и термостат, например, используются для создания условий, необходимых для качественного или количественного анализа биологических образцов. При этом для центрифуги нормируются угловая скорость вращения и допустимые отклонения от нее, а для лабораторного термостата номинальное значение воспроизводимой температуры и предельно допустимые отклонения.

Основные положения и порядок проведения аттестации испытательного оборудования, а также порядок разработки программы и методики аттестации испытательного оборудования приведены в национальном стандарте ГОСТ Р 8.568-2017. «ГСИ. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения» [2].

Программа и методика аттестации испытательного оборудования разрабатывается с учетом требований, изложенных в ГОСТ Р 8.568-2017, где предусматривается методика проведения всех необходимых измерений, алгоритм определения метрологических характеристик.

Испытательное оборудование согласно ГОСТ Р 8.568-2017 представляет собой техническое устройство для воспроизведения условий испытаний. Если методика нормирует точностные характеристики испытательного оборудования (такие как точность воспроизведения и поддержания температуры или скорости вращения), то такое испытательное оборудование подлежит аттестации. Аттестацию проводят с периодичностью, установленной в эксплуатационной документации или при первичной аттестации.

Также, как и средства измерений испытательное оборудование с определенной периодичностью должно проходить проверку в ходе эксплуатации [3, 4]. Периодичность такой проверки не превышает межаттестационный период и является гарантией соответствия оборудования точностным требованиям до наступления очередной аттестации, что становится особенно важным, если учесть большую длительность межаттестационного периода по сравнению с межповерочным.

Инженер по метрологии (как правило) разрабатывает программу аттестации и методику аттестации, в которых указывает необходимые средства аттестации (средства измерений и /или стандартные образцы, а также реактивы, вспомогательное оборудование), согласовывает ее с заказчиком. Право утверждающей подписи принадлежит руководителю организации – владельца испытательного оборудования. Во время предварительного общения инженер, путем опроса выясняет потребность в объеме услуг, советуясь с клиентом, принимает решение об использовании необходимых для выполнения работ [5]. Далее переходит в непосредственному выполнению объема работ.

Разработка программы и методики аттестации состоит из двух этапов:

Первый этап:

1. Выбрать испытательное оборудование. Технологическое, лабораторное, вспомогательное и т. п. оборудование (термостаты, печи, сушильные шкафы и др.), используемое для воспроизведения условий испытаний, подлежит аттестации по ГОСТ Р 8.568.

2. Провести метрологическую экспертизу всей технической и эксплуатационной документации на испытательное оборудование.

3. Провести метрологическую экспертизу документации технических регламентов и стандартов (Аттестация испытательного оборудования по ГОСТ Р 8.568-2017).

4. Разработать проект программы и методики первичной (периодической) аттестации. В ней предусматривается методика проведения всех необходимых измерений, алгоритм определения метрологических характеристик аттестуемого оборудования, регламентируется форма

отчетности, составления всех сопровождающих документов (протокол аттестации). Средства испытаний, средства измерений, эталоны, вспомогательные средства, позволяющие с высокой точностью измерить физическую величину, воспроизводимую оборудованием.

Второй этап:

1. Создание программы аттестации испытательного оборудования, которая должна содержать следующие разделы:

- объект аттестации – общие положения – объем аттестации – условия и порядок проведения аттестации – информация о методике аттестации;
- материально-техническое и метрологическое обеспечение аттестации – требования к отчетности.

2. Создание методики аттестации, которая должна содержать следующие разделы:

- общие положения – оцениваемые характеристики и расчетные соотношения – порядок проведения аттестации – обработка, анализ и оценка результатов аттестации – требования к отчетности.

3. Рекламная кампания.

Таким, образом, можно сделать вывод, что современное производство сложно представить без учета контроля качества и тестирования продукции на протяжении всего жизненного цикла. В соответствии с действующими нормативными документами средства измерений должны быть подвергнуты поверке (калибровке), а испытательное оборудование – аттестовано. Программу и методику аттестации можно будет применять в организациях, которые проводят испытания. Основные положения и порядок проведения аттестации испытательного оборудования, а также порядок разработки программы и методики аттестации испытательного оборудования приведены в национальном стандарте ГОСТ Р 8.568-2017. «ГСИ. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения».

Библиографический список

1. Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения [Текст]: ГОСТ Р 8.568-2017. - Введ. 2018-08-01. - Стандартинформ, Москва, 2018.
2. Анисимов, В. П. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: Учебное пособие / В.П. Анисимов, А.В. Яцук. - Москва: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 253 с.
3. Лежнина, И.А. Метрологическое обеспечение производства [Текст]: учебное пособие / И.А.Лежнина, А.А.Уваров; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 120 с.
4. Мифтахова, Н.И. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учебное пособие для СПО / Н.И. Мифтахова. – Нижнекамск: НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», 2018. - 100 с.

5. Пазушкина, О.В. Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества [Текст]: учебное пособие / О.В. Пазушкина. –Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 148 с. – Текст: непосредственный.

УДК 535.361

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЪЕМА БИОТКАНИ
ДЛЯ ПОРТАТИВНОГО АНАЛИЗАТОРА ПЕРФУЗИОННО-
МЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ**

Е.В. Жарких

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С.
Тургенева», г. Орёл

В работе описывается процесс моделирования величины диагностического объема каналов лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии для портативного диагностического устройства. Распространение оптического излучения моделировалось в многослойной модели кожи двух типов, отличающихся структурными и функциональными особенностями. Показана зависимость глубины проникновения зондирующего излучения от геометрии зонда и от анатомических особенностей биологических тканей.

Ключевые слова: лазерная доплеровская флоуметрия, флуоресцентная спектроскопия, моделирование Монте-Карло, оптическая неинвазивная диагностика.

**MODELLING OF DIAGNOSTIC VOLUME OF BIOTISSUE
FOR A PORTABLE ANALYSER OF PERFUSION AND METABOLIC
DISORDERS**

E.V. Zharkikh

Orel State University named after I.S. Turgenev, Oryol

This paper describes the process of modelling the diagnostic volume of laser Doppler flowmetry and fluorescence spectroscopy channels for a portable diagnostic device. The propagation of optical radiation was simulated in a multilayer skin model of two types, differing in structural and functional features. The dependence of the penetration depth of probing radiation on the probe geometry and on the anatomical features of biological tissues is shown.

Key words: laser Doppler flowmetry, fluorescence spectroscopy, Monte Carlo simulation, optical non-invasive diagnostics.

В последнее время наблюдается тенденция к минимизации многих технологий биофотоники и реализации их в формате носимых электронных устройств. Сюда относятся такие технологии, как лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) и флуоресцентная спектроскопия (ФС). Современные

достижения в области лазерной физики и фотоники позволили создать миниатюрные реализации этих методов [1,2], которые помещаются в портативный монитор, сравнимый по размеру с наручными часами. Однако, в то время как новые технологии становятся доступными для все более широкого круга пользователей, необходимо изучить данные об особенностях их функционирования.

Целью настоящего исследования являлось изучение особенностей распространения оптического излучения каналов ЛДФ и ФС портативного диагностического устройства в биологических тканях на основе моделирования методом Монте-Карло.

Для моделирования диагностического объема были приняты во внимание особенности геометрии излучающей и регистрирующей частей устройства (размер и профиль пучка источника света, размер и положение источника излучения и детектора, межцентровое расстояние между ними). Для этого моделирования размер входных пакетов фотонов был выбран равным 10^6 фотонов. В качестве фазовой функции рассеяния была выбрана функция Хеньи-Гринштейна. В моделировании использовалась четырехслойная модель кожи, которая включала роговой слой, живой эпидермис, сосочковый слой дермы, сетчатый слой дермы. Моделирование проводилось в программе TracePro. Для каждой из технологий, диагностический объем моделировался для двух типов кожи: гладкой и негладкой кожа (первая покрывает поверхность ладоней и подошв ног, вторая покрывает почти все тело человека), характеризующихся различными структурными и функциональными особенностями. Для канала ЛДФ при моделировании учитывалось распределение зондирующего излучения в биоткани. моделирования, а для канала ФС дополнительно учитывалось распределение флуоресцентного излучения. В таблице 1 приведены параметры модели кожи, использованные в настоящем моделировании.

Таблица 1 – Используемые параметры моделирования [3]

Параметры для зондирования светом с $\lambda = 850$ нм					
№ слоя		$\mu_s, \text{мм}^{-1}$	$\mu_a, \text{мм}^{-1}$	g	n
1	Роговой слой	25,28	0,22	0,86	1,53
2	Эпидермис	17,62	1,11	0,80	1,34
3	Сосочковая дерма	10,89	0,12	0,90	1,40
4	Сетчатая дерма	10,89	0,07	0,80	1,40
Параметры для зондирования светом с $\lambda = 365$ нм					
1	Роговой слой	65,74	28,00	0,74	1,53
2	Эпидермис	16,50	9,26	0,72	1,34
3	Дерма	45,80	0,65	0,72	1,40

Результаты моделирования показали, что для обоих типов кожи в канале ЛДФ, реализованном с использованием вертикально излучающего лазера с излучением на длине волны 850 нм, зондируемый объем ткани достигает ретикулярной дермы, а величина диагностического объема составляет около 3-4 мм³. Для канала ФС, который работает на длине волны 365 нм, рассчитанный диагностический объем составил 1,5 мм³ для негладкой кожи и 4,5 мм³ для гладкой кожи, а объем зондируемой ткани достигает от 30 до 70 % ретикулярной дермы в каждом случае.

Полученные результаты могут быть использованы для обоснования и улучшения качества диагностической информации, получаемой с помощью портативных устройств оптической неинвазивной диагностики, реализующих методы ЛДФ и ФС.

Библиографический список

1. Дунаев, А. В. Мультиодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека: монография / А. В. Дунаев. – Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2022. – 440 с.
2. Дунаев, А.В. и др. Методы биомедицинской фотоники в решении задач диагностики / А.В. Дунаев, Е.В. Потапова, Ю.И. Локтионова, Е.О. Брянская, К.Ю. Кандурова, И.Н. Новикова. – Медицинская техника. –2022. – Т. 5(335), С. 27-31.
3. Vo-Dinh T. (ed.). Biomedical photonics handbook. – CRC press, 2003.

УДК 658.5.012.7

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОВЕДЕНИЮ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

А.В. Губарев, С.В. Губарева, А.В. Балакина

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Проанализирована деятельность по проведению метрологической экспертизы. Выявлены требования к проведению метрологической экспертизы на предприятии.

Ключевые слова: метрологическая экспертиза, задачи, требования, анализ.

ANALYSIS OF THE REQUIREMENTS FOR THE METROLOGICAL EXAMINATION

A.V. Gubarev, S.V. Gubareva, A.V. Balakina

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The activity of carrying out metrological examination is analyzed. The requirements for carrying out metrological examination at the enterprise are revealed.

Key words: *metrological examination, tasks, requirements, analysis.*

Большинство работ по метрологическому обеспечению включают в себя метрологическую экспертизу. Метрологическая экспертиза проводится для технической документации, которая содержит требования к:

- измерению параметров процессов и продукции;
- средствам измерений;
- составным частям средств измерений;
- программному обеспечению;
- стандартным образцам;
- испытательному оборудованию.

Метрологическую экспертизу осуществляет отдел метрологии. В процессе разработки метрологической экспертизе подлежат документы перед нормоконтролем.

Объектами метрологической экспертизы являются:

- изделия (составные части изделий), разрабатываемые в организации;
- техническая (конструкторская и метрологическая) документация на изделия (составные части изделий), разрабатываемые и выпускаемые организацией;
- документация на технологическое и другое производственное оборудование, и процессы, создаваемые и приобретаемые организацией;
- нормативные документы организации, содержащие требования к измерениям, контролю и испытаниям продукции и производственного оборудования.

Метрологическая экспертиза проводится с целью обеспечения требуемого технического уровня и эффективности измерений при разработке, производстве, ремонте, испытании и эксплуатации изделий, разрабатываемых и выпускаемых организацией и их составных частей.

Метрологическая экспертиза включает в себя метрологический контроль технической документации, который осуществляется путем проверки технической документации на соответствие конкретным метрологическим требованиям, установленным в нормативной документации.

Метрологическая экспертиза проводится на этапе разработки и согласования документации до проведения нормоконтроля и как правило регламентируется стандартом организации.

Основные задачи метрологической экспертизы приведены на рисунке 1.



Рис. 1 – Задачи метрологической экспертизы

Работы по метрологической экспертизе технической документации проводят на этапах разработки, испытаний и производства изделий и их составных частей, при переоснащении производств и испытательных подразделений, освоении новых технологических процессов и оборудования, других видов работ в организации.

Основное содержание работ по метрологической экспертизе технической документации включает идентификацию объекта измерений и его параметров, подлежащих измерениям, определение оптимальной точности измерений и рациональный выбор средств и методов выполнения измерений.

Метрологическая экспертиза проводится на основе ежегодного плана метрологической экспертизы, составляемого отделом метрологии предприятия.

Метрологическая экспертиза технической документации на новые изделия, осваиваемые организацией в следующем году, проводится как внеплановая и осуществляется по мере написания этой документации.

Ответственность за своевременное предоставление перечней несут руководители подразделений.

На основании перечней подразделений организации, поданных не позднее установленного срока, отдел метрологии составляет план проведения метрологической экспертизы.

Ответственность за своевременное предоставление на метрологическую экспертизу технической документации несет руководитель подразделения, разрабатывающего документацию.

Сроки рассмотрения предъявленной разработчиком технической документации и выдачи замечаний по результатам метрологической экспертизы устанавливаются дифференциально для различных документов в зависимости от их объема и сложности.

Работы по организации и проведению метрологической экспертизы изделий ВТ должны проводиться при соблюдении требований закона Российской Федерации от 21 июля 1993 г. № 5485-1 «О государственной тайне» и Федерального закона от 6 октября 1997 г. № 131-ФЗ «О внесении изменений и дополнений в Закон Российской Федерации «О государственной тайне», инструкции по обеспечению режима секретности в Российской Федерации (утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации от 5 января 2004 г. № 3-1) и изданных на их основе положений, инструкций и правил по режиму секретности проводимых работ.

Программы метрологической экспертизы и заключения должны по возможности содержать минимальное количество данных, сведения о которых составляют государственную тайну.

Документация, поступившая в отдел метрологии на метрологическую экспертизу, направляется ответственному за проведение метрологической экспертизы.

Техническая документация предъявляется на метрологическую экспертизу в отдел метрологии в виде подлинников при наличии на них подписей всех лиц, ответственных за содержание и выполнение документа, кроме подписи нормоконтролера и утверждающей подписи. Технические документы, прошедшие метрологическую экспертизу, подписываются лицами, проводившими метрологическую экспертизу с перечнем средств измерений и (или) на поле листа с основной надписью и удостоверяются знаком метрологической экспертизы – оттиском клейма.

При наличии замечаний по результатам метрологической экспертизы лицо, проводившее метрологическую экспертизу, делает карандашные пометки на полях документа. После учета разработчиком таких замечаний ответственный за метрологическую экспертизу визирует оригиналы документов. В проверяемых чертежах и сборочных чертежах замечания должны наноситься так, чтобы можно было их понять и удалить, не нарушая качества документа. Свои карандашные пометки ответственный за метрологическую экспертизу снимает сам.

По заявке от подразделения, разрабатывающего документацию, может быть составлено экспертное заключение. Экспертное заключение утверждает главный метролог.

Отдел метрологии в обязательном порядке согласовывает все измерения метрологического характера.

Лица, осуществляющие метрологическую экспертизу документации, проводят свою работу под методическими руководством начальника отдела метрологии.

Ответственность за качество технической документации возлагается на разработчика.

Разногласия между разработчиком и ответственным за метрологическую экспертизу разрешаются начальником отдела метрологии.

Ответственные за метрологическую экспертизу ведут журнал учета документации, поступившей на метрологическую экспертизу, который позволяет учитывать содержание замечаний и предложений.

Запрещается вносить какие-либо изменения метрологического характера в подлинник (оригинал) технической документации без ведома начальника отдела метрологии после того, как этот подлинник (оригинал) завизирован лицом, проводившим метрологическую экспертизу.

Библиографический список

1. Волкова С.В., Губарев А.В., Чаплыгина Я.М. Совершенствование процесса метрологической экспертизы технической документации // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование. Сборник научных трудов 5-й Международной молодежной научно-практической конференции. - Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2018. С. 152-156.

УДК 614.251

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ РЕГЛАМЕНТА MDR

А.В. Губарев, С.В. Губарева, Е.А. Ефремова

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Проанализирован регламент, содержащий требования к медицинским изделиям. Рассмотрены основные его положения.

Ключевые слова: *MDR, регламент, медицинские изделия, оборудование.*

ANALYSIS OF THE REQUIREMENTS OF THE MDR REGULATIONS

A.V. Gubarev, S.V. Gubareva, E.A. Efremova

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The regulation containing the requirements for medical devices is analyzed. Its main provisions are considered.

Key words: *MDR, regulations, medical devices, equipment.*

Европейская индустрия медицинского оборудования претерпела значительные изменения в мае 2021 года в соответствии с Регламентом ЕС о медицинском оборудовании, EU 2017/ 745 вступило в силу немедленно во всех 27 странах ЕС. MDR заменяет предыдущую Директиву Совета MDD 93/42/ЕЕС или «MDD», содержащую общие правила, которые государства - члены ЕС по-разному переносили в свои национальные законы в разные периоды времени. Соблюдение MDR является обязательным для всех компаний, которые производят, импортируют и распространяют медицинские устройства в Европе, включая компании, которые продают медицинские перчатки и маски.

Европейский совет ввел MDR по нескольким причинам. Одной из них является желание восстановить доверие к системе регулирующего надзора после нескольких скандалов, связанных с компаниями, которые продавали небезопасные медицинские устройства в рамках MDD. Совет также хотел создать единый подход к регулированию медицинского оборудования, который был бы общим для всех государств - членом ЕС, вместо того, чтобы продолжать допускать различия в толковании и применении по всей Европе. Совет хотел идти в ногу с научно-техническими разработками, такими как современное программное обеспечение или устройства, которые собирают данные о состоянии здоровья. Новый MDR обеспечивает высокие стандарты качества и безопасности для медицинских изделий, производимых в Европе или поставляемых в нее. Это сделано путем создания надежной, прозрачной, предсказуемой и устойчивой нормативно-правовой базы, которая поддерживает инновации, обеспечивая при этом лучшую защиту общественного здравоохранения и безопасность пациентов.

В тексте регламента четко прописаны обязательства производителей и дистрибьюторов:

- а) внедрить системы управления рисками и менеджмента качества;
- б) провести клиническую оценку;
- в) составить техническую документацию;
- г) применить процедуры оценки соответствия.

Поскольку целью закона является обеспечение производительности и безопасности на протяжении всего жизненного цикла устройства, ЕС уделяет большое внимание наблюдению за рынком, что в основном относится к ответственности производителя. Другими словами, компании, размещающие медицинские устройства на европейском рынке, несут ответственность за свои устройства и должны быть в состоянии продемонстрировать финансовую защиту в случае, если неисправное устройство несет ответственность за причинение вреда.

Все компании, производящие медицинские изделия, предназначенные для ЕС, должны назначить лицо, исключительно ответственное за соблюдение нормативных требований. Тогда и только тогда они могут составить декларацию о соответствии, прежде чем подавать заявку на маркировку CE.

На постоянной основе компаниям, попадающим под действие MDR ЕС, поручено вводить и поддерживать данные в EUDAMED (европейская информационная система для медицинских изделий и экономических операторов, обеспечивающих вывод и обращение медицинских изделий на рынке ЕС), включая, но далеко не ограничиваясь этим, поддержание UDI (уникального идентификатора устройства) в актуальном состоянии.

Если устройство получило маркировку CE в соответствии с Директивой, то оно может остаться на рынке. Следующие несколько лет можно рассматривать как переходный процесс. ЕС не намерен отказываться от ранее сертифицированных устройств, если они соответствовали директивам.

Поскольку MDR ЕС уделяет большое внимание документации поставщиков, чем прочнее отношения производителя с поставщиками, тем лучше. Из-за множества действующих нормативных актов поставщики не всегда располагают ресурсами, чтобы предоставить производителям точную необходимую информацию.

В то время как старый MDD – Директива, которая служила руководством для производителей медицинского оборудования, которые хотели получить маркировку CE, MDR – это Регламент, который в более широком смысле направлен на повышение безопасности для людей по всей Европе. Он вводит новые обязанности для экономических операторов по всей цепочке поставок медицинского оборудования и требует, чтобы каждый из них проверял соответствие требованиям предыдущего оператора. MDR также вводит новые требования в таких областях, как клиническая оценка, пострыночный надзор и маркировка, а также новые системы, которые упростили отслеживание медицинских устройств. Как нормативный акт, MDR является юридически обязательным и применяется во всех государствах-членах.

Окончательный документ MDR был опубликован в мае 2017 года, а правила вступили в силу в мае 2021 года. В течение переходного периода устройства могли быть размещены на рынке либо под MDD, либо под MDR ЕС. Компании, производящие медицинское оборудование, могли получить сертификат соответствия от нотифицированных органов до даты вступления в силу 26 мая 2021 года, и эти сертификаты действительны в течение пяти лет с даты выдачи, что обеспечивает плавный переходный период.

Перед размещением медицинского устройства на рынке производители должны провести оценку соответствия устройства. Эта оценка должна проводиться в соответствии с применимым маршрутом оценки соответствия, изложенным в MDR, на основе о классификации продуктов. После завершения этой оценки производители могут нанести на изделие знак CE, чтобы показать, что медицинское устройство соответствует требованиям и, следовательно, соответствует MDR. Класс II, Класс III и некоторые классы I устройства потребуют проверку Нотифицированным органом.

В соответствии с MDR все устройства должны будут иметь уникальный идентификатор устройства (UDI) на этикетке и упаковке, а для некоторых устройств - на самом продукте. UDI предназначен для улучшения

прослеживаемости медицинских устройств по всей цепочке поставок путем объединения всей информации о каждом медицинском устройстве через цифровое информационное хранилище EUDAMED. MDR требует, чтобы этикетка UDI была прикреплена непосредственно к медицинскому устройству или к его упаковке.

Библиографический список

1. Регламент Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2017/745 от 5 апреля 2017 г. о медицинских изделиях, об изменении Директивы 2001/83/ЕС, Регламента (ЕС) 178/2002 и Регламента (ЕС) 1223/2009, а также об отмене Директив 90/385/ЕЭС и 93/42/ЕЭС Совета ЕС

УДК 614.251

ТРЕБОВАНИЯ РЕГЛАМЕНТА MDR К БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А.В. Губарев, С.В. Губарева, Е.А. Ефремова

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Проанализированы требования регламента EU 2017/ 745 к безопасности и производительности медицинских изделий, а также дополнительные требования, касающиеся информации, которую производители должны предоставлять вместе с устройством.

Ключевые слова: MDR, регламент, медицинские изделия, оборудование.

MDR REGULATION REQUIREMENTS FOR THE SAFETY AND PERFORMANCE OF MEDICAL DEVICES

A.V. Gubarev, S.V. Gubareva, E.A. Efremova

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The requirements of Regulation EU 2017/ 745 on the safety and performance of medical devices, as well as additional requirements regarding the information that manufacturers must provide with the device, are analyzed.

Key words: MDR, regulations, medical devices, equipment.

Вступивший недавно в силу Европейский регламент EU 2017/ 745 (MDR) уделяет значительное внимание безопасности медицинских изделий.

В Приложении I к MDR ЕС подробно излагаются общие требования к безопасности и производительности (GPRS). Они разбиты на три главы:

Глава 1 - Общие требования.

Глава 2 - Требования, касающиеся проектирования и изготовления.

Глава 3 - Требования к информации, прилагаемой к устройству.

Общие требования, изложенные в новом MDR, включают следующее:

а) устройства должны работать таким образом, чтобы соответствовать предполагаемому дизайну;

б) устройства не должны ставить под угрозу здоровье или безопасность пациента, пользователя или любого другого лица, связанного с устройством;

в) риски должны быть снижены настолько, насколько это возможно, но не настолько, чтобы они негативно влияли на соотношение выгоды и риска;

г) производители должны внедрять и поддерживать тщательную, хорошо документированную и оценочную систему управления рисками, которая продолжает обновляться на протяжении всего жизненного цикла устройства;

д) производители должны предусмотреть любые необходимые меры для защиты пользователей в тех случаях, когда риски не могут быть устранены;

е) производители должны предоставлять пользователям информацию о любых потенциальных рисках, которые остаются. Эта информация должна быть четкой, простой для понимания и учитывать уровень технических знаний пользователей, условия использования и любые применимые медицинские условия;

ж) устройства должны выдерживать нагрузки при нормальном использовании в течение всего срока их службы;

з) устройства должны быть спроектированы, изготовлены и упакованы таким образом, чтобы защитить их от повреждений во время транспортировки и хранения;

и) когда речь заходит о рисках и негативных побочных эффектах, которые известны и предсказуемы, разработчики и производители должны приложить все усилия, чтобы свести к минимуму негативные последствия. Они также должны гарантировать, что потенциальные риски приемлемы по сравнению с потенциальными преимуществами устройства для его пользователей.

GPRS также требует, чтобы производители предоставляли подробную информацию о медицинских устройствах, в частности:

а) химические, физические и биологические свойства;

б) возможность заражения или микробного загрязнения;

в) использование веществ, которые считаются лекарственными препаратами или которые организм человека иным образом поглощает или рассеивает;

г) включение биологических материалов;

д) взаимодействие с окружающей средой;

е) возможность диагностировать или проводить измерения;

ж) радиоактивные свойства;

з) системы, которые программируются электронным способом;

и) возможность быть активным и подключаться к другим устройствам;

к) способность быть активным и имплантируемым;

л) способность выдерживать механические и термические риски;

м) возможность безопасной подачи энергии или веществ пользователю или пациенту;

н) возможность использования непрофессионалами.

В рамках каждой из этих позиций GPRS описывает детали, которых производители должны придерживаться в ситуациях, когда требования применимы.

Последняя ключевая область управления в рамках GPRS связана с конкретной информацией, которую производитель должен предоставить вместе с устройством. Общие требования к этой информации гласят, что «каждое устройство должно сопровождаться информацией, необходимой для идентификации устройства и его производителя, а также любой информацией о безопасности и производительности, относящейся к пользователю или любому другому лицу, в зависимости от обстоятельств».

Требования гласят, что должна быть предоставлена информация об этикетке устройства, инструкции пользователя и упаковки устройства, предназначенного для поддержания его стерильного состояния.

В приложении II к MDR ЕС определены дополнительные требования, касающиеся информации, которую производители должны предоставлять вместе с устройством. Они гласят, что документация должна содержать информацию, которая четко демонстрирует соответствие, в частности:

а) GSPR, применимые к устройству, и объяснение того, почему другие не применяются;

б) метод или методы, используемые для демонстрации соответствия каждому применимому GSPR;

в) гармонизированные стандарты, общая спецификация или другие применяемые решения;

г) точная идентификация контролируемых документов, подтверждающих соответствие каждому гармонизированному стандарту, CS или другому методу, применяемому для демонстрации соответствия GSPR.

Пункт (а), касается требований GSPR, которые применяются/не применяются, чтобы обеспечить соответствие пункта (а), производители должны оценить каждый GSPR, чтобы определить, как наилучшим образом выполнить каждое требование.

Когда применяется требование, может быть сделано простое заявление о том, что это требование применимо к устройству. Когда какое-либо требование неприменимо, необходимо сделать соответствующее заявление. Кроме того, компании должны предоставить обоснование того, почему это требование не применяется.

Часть (б) относится к тому, как компания соблюдает этот GSPR. Исторически сложилось так, что это было в виде ссылки на стандарт или другую документацию, которую компания применила для демонстрации соответствия. Однако вопрос об "используемом методе или методах" является новым для MDR, ожидается просто словесное описание.

Часть (в), касается общих спецификаций, согласованных стандартов или других применяемых решений.

Ниже приведены определения общих спецификаций, гармонизированных стандартов и «других решений».

Другие решения - это просто альтернативные механизмы, которые компании используют для демонстрации соответствия GSPR. Это могут быть такие документы, как другие международные стандарты и собственная документация производителей.

Общие спецификации определяются как «Набор технических и/или клинических требований, отличных от стандарта, которые обеспечивают средства соблюдения юридических обязательств, применимых к устройству, процессу или системе».

Общие спецификации могут быть введены в областях, где не существует согласованных стандартов, где они недостаточны или где существует угроза общественному здоровью, которую необходимо устранить.

Гармонизированные стандарты – это стандарты, которые были специально разработаны и оценены на предмет соответствия правилам или директивам.

Пункт (г) гласит, что производители должны продемонстрировать соответствие в отношении «точной идентификации контролируемых документов, подтверждающих соответствие каждому согласованному стандарту, общая спецификация или другому методу, применяемому для демонстрации соответствия общим требованиям безопасности и производительности. Информация, упомянутая в этом пункте, должна включать перекрестную ссылку на местонахождение таких доказательств в полной технической документации и, если применимо, в краткой технической документации».

Это означает, что кто-то, просматривающий документ, должен быть в состоянии легко определить, где именно в технической документации можно найти доказательства соответствия.

Все компании, которые производят, импортируют или продают медицинские изделия, включая медицинские перчатки и маски, должны обеспечить соответствие новым стандартам ЕС по MDR. Должны быть установлены эффективные процессы для надлежащего документирования соответствия требованиям GSPR и избежания проверок со стороны регулирующих органов.

Производители и дистрибьюторы частных торговых марок должны иметь возможность хранить и отслеживать всю техническую документацию, касающуюся самих медицинских устройств. Это включает в себя как производственную, так и связанную с рынком документацию, за управление которой они ранее, возможно, не отвечали. Кроме того, законный производитель продукции под собственной торговой маркой должен иметь возможность оценивать соответствие продукта, обновлять информацию и соблюдать все обязательства по хранению записей в соответствии с MDR.

Библиографический список

1. Регламент Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2017/745 от 5 апреля 2017 г. о медицинских изделиях, об изменении Директивы 2001/83/ЕС, Регламента (ЕС) 178/2002 и Регламента (ЕС) 1223/2009, а также об отмене Директив 90/385/ЕЭС и 93/42/ЕЭС Совета ЕС.

УДК 681.2

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

А.В. Черенков

Научный руководитель – Прошин Е.М. профессор, д.т.н.

Рассмотрены основные методы измерения магнитного поля и основные типы магнитометров с описанием области их применения.

Ключевые слова: *магнитное поле, метод измерения, магнитометр.*

METHODS OF MEASURING THE MAGNETIC FIELD

A.V. Cherenkov

Supervisor – Proshin E.M. Professor, Doctor of Technical Sciences

The main methods of measuring the magnetic field and the main types of magnetometers with a description of their application are considered.

Keywords: *magnetic field, measurement method, magnetometer.*

Баллистический метод основан на измерении баллистическим гальванометром количества электричества, индуктируемого в измерительной катушке при быстром изменении сцепленного с ней магнитного потока.

Магнитометрический метод основан на воздействии исследуемого намагниченного образца на расположенную вблизи него магнитную стрелку. По углу отклонения магнитной стрелки от начального положения определяют магнитный момент образца. Благодаря высокой чувствительности магнитометрического метода его широко применяют для измерений геомагнитного поля и для решения ряда метрологических задач.

Электродинамический метод - метод при котором измеряют угол поворота катушки с током под действием магнитного поля намагниченного образца. К преимуществам метода относится возможность градуирования шкалы прибора непосредственно в единицах измеряемой величины (B или H).

Индукционный метод позволяет определять кривые $B(H)$, $J(H)$, петлю гистерезиса и различные виды проницаемости. Он основан на измерении ЭДС индукции, которая возбуждается во вторичной обмотке при пропускании намагничивающего переменного тока через первичную обмотку образца. Метод может быть также использован для измерения намагниченности в сильных импульсных магнитных полях и магнитной

восприимчивости диамагнитных и парамагнитных веществах в радиочастотном диапазоне.

Мостовой и потенциометрический методы определения магнитных характеристик в большинстве случаев применяются для измерений в переменных магнитных полях в широком диапазоне частот. Они основаны на измерении параметров (индуктивности L и активного сопротивления R) электрической цепи с испытуемыми ферромагнитными образцами.

Магнитометры

Магнитометры реагируют на магнитное поле и выражают показатели его силы в различных физических единицах измерения. В связи с этим существует много типов данных приборов, каждый из которых адаптирован под определенную поисковую цель.

По принципу действия магнитометры разделяют на 3 вида:

1. Магнитостатические.
2. Индукционные.
3. Квантовые.

Каждая разновидность реагирует на стороннее магнитное поле, используя определенный физический принцип. На базе этих трех разновидностей созданы различные узкоспециализированные виды магнитометров, которые являются более точными для измерений в определенных условиях.

Магнитостатические

Внутри магнитометра находится небольшой постоянный магнит, реагирующий на магнитное поле, с которым контактирует. Магнит находится в подвешенном состоянии на упругой подвеске, позволяющей ему прокручиваться. Она практически не обладает своей жесткостью, поэтому не удерживает его и позволяет прокручиваться без сопротивления. Когда постоянный магнит реагирует с чужеродным полем, направление которого, или сила не совпадают с его собственным, происходит реакция притяжения или отторжения. В результате подвешенный постоянный магнит начинает проворачиваться, что фиксирует чувствительный датчик. Таким образом осуществляется измерение силы и направления стороннего магнитного поля. Чувствительность магнитостатического прибора зависит от эталонного магнита, который в него установлен. Также на точность измерения влияет упругость подвески.

Индукционные

Индукционные магнитометры имеют внутри катушку с проволочной обмоткой из токопроводящего материала. Она находится под напряжением от аккумуляторного источника питания. Катушка создает собственное магнитное поле, которое начинает контактировать со сторонними полями, проходящими через ее контур. Чувствительные датчики реагируют на изменения, которые отображаются на катушке в результате такого взаимодействия. Они могут реагировать на вращение или колебания. У более сложных устройств датчики реагируют на изменение магнитной проницаемости сердечника катушки. Независимо от того каким образом

фиксируется изменение, прибор отображает показатели внешних магнитных полей и позволяет определять местонахождение объектов, их размер и отдаленность.

Квантовые

Квантовые магнитометры реагируют на магнитный момент электронов,двигающихся под воздействием внешнего магнитного поля. Это сложное и дорогостоящее оборудование, которое используется для лабораторных исследований. Устройство фиксирует магнитный момент микрочастиц и напряженность измеряемого поля. Данное оборудование позволяет измерить напряженность слабых полей, в том числе тех, которые находятся в космическом пространстве. Именно это оборудование применяется в георазведке для поиска глубоких залежей полезных ископаемых.

Библиографический список

1. Болтон у. – Карманный справочник инженера метролога – 2002 г.
2. Садовский Г.А. – Теоретические основы информационно-измерительной техники 2008г.
3. Бишард Е. Г. – Аналоговые электроизмерительные приборы 1991 г.

УДК 531.7

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

А.В. Губарев, В.А. Соболева

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

В статье раскрыто обоснование необходимости совершенствования метрологического обеспечения производства с целью повышения эффективности использования ресурсов при выполнении измерений в период цифровизации метрологии.

Ключевые слова: *цифровизация метрологии, измерительное оборудование, 3d-моделирование, 3d-сканирование, реверс-инжиниринг, автоматизация измерений, массив данных, инспекция.*

DIGITALIZATION AS A TOOL FOR IMPROVING METROLOGICAL SUPPORT OF PRODUCTION

A.V. Gubarev, V.A. Soboleva

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The article reveals the rationale for the need to improve the metrological support of production in order to increase the efficiency of using resources when performing measurements during the digitalization of metrology.

Keywords: *digitalization of metrology, measuring equipment, 3d modeling, 3d scanning, reverse engineering, measurement automation, data array, inspection.*

Развитие экономики промышленно развитых стран, к которым относится Российская Федерация, невозможно без повышения эффективности производства. Основным направлением для обеспечения этого фактора является переход к инновационной экономике, основанной на развитии науки и широком внедрении ее достижений в производство. Современная наука и производство насыщены средствами измерений, показатели точности которых характеризуют уровень развития науки и производства. [1]

Опыт стран - лидеров в области промышленного развития показывает, что высокий уровень развития экономики может быть достигнут только путем внедрения в важнейшие сферы деятельности государства передовых технологий, которые основаны на современных достижениях науки, техники, информатизации, и неотъемлемой частью которых являются точные измерения. В настоящее время нет ни одной высокотехнологичной и наукоемкой сферы деятельности, в которой не использовались бы результаты высокоточных измерений.

Четвертая цифровая промышленная революция меняет глобальную экономику, запуская новый этап гонки технологий. В свою очередь цифровизация экономики диктует необходимость цифровизации метрологии и модернизации используемых механизмов измерений, метрологических технологий и методов регулирования и контроля, требует создания принципиально новых технологий метрологического обеспечения, а также внедрения высокоточного новейшего измерительного оборудования на этапах жизнеобеспечения продукции.

Возникает необходимость в приобретении и внедрении в производство сложных измерительных систем, которые не только передают огромное количество данных, но и обрабатывают большой массив данных с помощью специализированного ПО. Требования к точности измерений становятся все жестче. Сейчас труд метролога под влиянием цифровизации и автоматизации из ручного труда превращается в труд оператора, заметна повышенная тенденция перевода измерений из «ручного» режима в режим ЧПУ или в программный режим, что особенно актуально для такого высокоточного современного оборудования, как координатно-измерительные машины. Трудовая деятельность инженеров по метрологии во многом определяется сейчас не только знанием о том, как выбрать способ и методику выполнения измерений, и как выполнить эти измерения правильно, но и умением программировать, создавать программы измерений на современном оборудовании с режимами ЧПУ, а также умением программировать способы анализа и обработки больших объемов данных – результатов измерений. Обработка и оцифровка больших данных — это черта «новой» метрологии.

Важно отметить, что инициатива внедрения новых измерительных технологий в цифровое производство и информационного обеспечения

постиндустриального общества исходит не только от крупных корпораций или научного сообщества. Данная работа невозможна без широкой государственной поддержки.

Работы по цифровизации в метрологии ведутся в РФ с 2020 года с момента вступления в силу Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года.

Согласно положениям данной Стратегии, высокий уровень развития экономики может быть достигнут только путем внедрения в важнейшие сферы деятельности государства передовых технологий, основанных на современных достижениях науки, техники, информатизации, неотъемлемой частью которых являются точные измерения [1].

Внедрение цифровых продуктов в повседневную деятельность – это системная работа, которая на базе ПАО завод «Красное знамя» началась с актуализации поставленных Росстандартом пяти стратегических задач, изложенных в Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года. Было проведено комплексное исследование имеющихся ресурсов, технических, технологических, кадровых, чтобы включить в план работы задачу «цифровой трансформации метрологических услуг, в том числе, создание инфраструктуры для цифровых сертификатов калибровки, создание «метрологического облака», а также внедрение высокоточного современного оборудования с элементами 3D-моделирования и использованием виртуальных моделей. Контроль геометрии и обратное проектирование – две основные задачи, которые можно оптимизировать благодаря 3D-сканированию и специализированным программным продуктам для обработки полученных данных. За счёт высокой скорости, точности, портативности и простоты в работе 3D-сканеры позволяют в несколько раз ускорить процесс измерений и сократить расходы. Наряду с перечисленными достоинствами, 3D-сканеры обеспечивают высокую повторяемость и могут быть автоматизированы. По показателям точности новейшие 3D-сканеры сопоставимы с координатно-измерительными машинами, но во всем остальном оставляют далеко «позади» универсальные средства измерений.

Библиографический список

1. Стратегия обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420397087>;
2. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ИЗМЕРЕНИЙ

А.В. Губарев, В.А. Соболева

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

В статье приведены результаты повышения эффективности выполнения измерений на современном модернизированном 3d-оборудовании посредством автоматизации процесса измерений деталей по разработанным инспекционным шаблонам.

Ключевые слова: *цифровизация метрологии, измерительное оборудование, 3d-моделирование, 3d-сканирование, реверс-инжиниринг, автоматизация измерений, массив данных, инспекция.*

IMPROVING THE PROCESS OF RESOURCE MANAGEMENT FOR MONITORING AND MEASUREMENT

A.V. Gubarev, V.A. Soboleva

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The article presents the results of improving the efficiency of measurements on modern upgraded 3D equipment by automating the measurement process of parts according to the developed inspection templates.

Keywords: *digitalization of metrology, measuring equipment, 3d modeling, 3d scanning, reverse engineering, measurement automation, data array, inspection.*

В рамках совершенствования процесса «Управление ресурсами для мониторинга и измерений» в цели предприятия ПАО завод «Красное знамя» в области метрологического обеспечения, была поставлена задача внедрения современного оборудования 3D сканеров Atos Core 300 и Creaform GO! Scan SPARK™, а именно: создание перечня деталей, для которых применим метод сравнения 3D-модели с математической CAD-моделью, и разработка инспекционных шаблонов, которые позволяют контролировать детали с помощью сравнения 3d и CAD-моделей на данном оборудовании.

Система оптическая координатно-измерительная топометрическая ATOS Core 5M (далее система ATOS) предназначена для измерений геометрических параметров поверхностей сложной формы. Изготовителем данного новейшего оборудования является фирма «GOM GmbH» (Германия). Принцип действия системы основан на принципе триангуляции – проецировании структурированного света на сканируемый объект. Контрастное изображение, спроецированное на объект, формирует на поверхности кодированный паттерн, что даёт возможность воссоздать его объемную форму благодаря цифровым камерам, которые снимают изображения под углом к источнику света. Получение полной объемной

модели объекта заключается в проведении серии снимков, сделанных с разных сторон, и их последующем объединении в единое целое.

Система ATOS состоит из сенсора ATOS с двумя камерами, модулем проектора, контроллером, блоком питания, а также компьютера и стойки или штатива для закрепления сенсора.

Система ATOS может полностью автоматически показывать отклонения всей поверхности изделия относительно данных CAD. Поскольку полученные данные измерений содержат всю информацию об объекте, в дополнение к отклонениям поверхности от CAD, программное обеспечение также автоматически получает подробную информацию, такую как отклонение допусков формы и расположения поверхностей, расположении отверстий и информацию о качестве подрезки.

При объединении данных в массив для каждой области формируются трёхмерные координаты точек поверхности сканируемого объекта в единой системе координат (по осям X, Y и Z), которые вычисляются на основании кривых линий интерференционных изображений, полученных с камер. После сканирования и обработки цифровых изображений система получает данные с видимой части поверхности объекта в виде массива («облака») точек, в котором для каждой точки известны её трехмерные координаты. Таким образом, оператор получает данные высокого разрешения – трехмерные полигональные сетки в формате STL, для применения в таких областях, как обратное проектирование и быстрое прототипирование. Программное обеспечение ATOS Professional позволяет проводить анализ полученных данных, а также в автоматическом режиме получать анализ серии изделий и получать данные о статистике отклонений, производить измерения деталей, создавать системы координат на базе имеющихся данных, применять допуски и строить графические отчеты.

Оптический координатно-измерительный прибор Creaform GO! Scan SPARK™ (далее прибор Creaform) также работает по принципу триангуляции. Проецируемая, с помощью проектора белого света, световая сетка формирует на поверхности объекта деформированный рисунок. Камеры сбора данных геометрии фиксируют форму сетки и далее, с помощью программы обработки, проводится вычисление расстояний до каждой точки в поле зрения одного кадра. Построение трёхмерной модели в виде облака точек проводится на основе серии снимков, сделанных с разных сторон и под разным углом, и объединенных в единое целое. Конструктивно приборы состоят из проектора белого света, трёх камер сбора данных геометрии и цветной камеры, помещенных в корпусе специальной формы, а также соединительного кабеля для подключения к ПК и источнику питания. Прибор Creaform работает под управлением ПО «VXelements», предназначенного для обеспечения взаимодействия узлов приборов, выполнения съёмки, сохранения и экспорта измеренных величин, а также обработки результатов измерений. Оптический портативный 3D-сканер Creaform обеспечивает гибкость, недоступную традиционным КИМ, и

высокую точность независимо от вибраций и других проблем со стабильностью на производственном участке.

Позиционирование приборов Creaform и ATOS Core 5M в пространстве во время проведения измерений осуществляется с помощью специальных меток (маркеров), нанесенных на объект сканирования и/или на окружающие предметы.

Две представленные 3D-системы позволяют внедрить 3D-печать для более быстрого и экономичного создания прототипов и готовых изделий, а также ускорить контроль качества деталей и реверс-инжиниринг сложных изделий. Объединение аддитивных технологий и 3D-сканирования – это возможность оптимизировать производство на всех этапах, сократить значительную часть времени на процесс измерений деталей и обработку данных, а также повысить конкурентоспособность предприятия на рынке и сделать «уверенный» шаг к Индустрии 4.0.

В рамках совершенствования процесса «Управление ресурсами для мониторинга и измерений» в отделе метрологии были разработаны инспекционные шаблоны для 3d-сканера ATOS Core 5M, а также на базе ПАО завод «Красное знамя» было проведено исследование на применимость инспекционных шаблонов для системы ATOS. В результате исследования было продемонстрировано значительное сокращение времени при измерении партии деталей в количестве 15 шт. На создание инспекционного шаблона по первой детали было затрачено 5 часов рабочего времени. Шаблон содержал сравнение измерительных поверхностей отсканированной 3d-модели и математической CAD-модели и выводил 89 геометрических размеров, включая несоосности, межцентровые размеры и т.д. Вторая деталь из партии по данному шаблону была измерена всего за 15 минут, 7 минут из которых были потрачены на сканирование объекта. Таким образом, партия деталей в количестве 15 шт. была измерена за 9 часов.

В рамках данных мероприятий также было проведено обучение сотрудников БТК цеха точной механики работе на 3D-сканере ATOS и разработаны методические указания для работников по базовому инспектированию, где основное внимание сосредоточено на способах базирования для измеряемых на системе ATOS деталях.

Таким образом, управление средствами для мониторинга и измерений направлено не только на обеспечение метрологической пригодности средств измерений и получения достоверных результатов измерений в соответствии с требованиями Федерального закона №102 [2], но и также направлено на применение современного высокоточного оборудования и сокращение временных потерь за счёт внедрения автоматизации измерительного процесса и разработке инспекционных шаблонов. Инспекционные шаблоны, разработанные для 3D-сканера Atos Core 300, могут быть созданы для первой детали из партии и далее применимы к остальным единицам деталей, так как разработанные с первой детали шаблоны уже несут в себе необходимые

смоделированные 3d-объекты и, следовательно, заданные геометрические параметры этих объектов.

Безусловно, цифровая трансформация в метрологии сегодня – это вызов, решение которого потребует значительных материальных и интеллектуальных инвестиций. Но важность повышения уровня информатизации функционирования системы обеспечения единства измерений, включая выполнение работ на современном, модернизированном, высокоточном измерительном оборудовании, было особо отмечено в Стратегии инновационного развития России. Это означает, что начатая работа – долгосрочный, широкомасштабный проект, который значительно усовершенствует цифрой профиль предприятий, а далее и региона, и повысит его экономический потенциал.

Библиографический список

1. Стратегия обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420397087>;
2. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904.
3. Губарев А.В., Губарева С.В., Чаплыгина Я.М. Анализ причин несоответствий процесса управления средствами измерений // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2020. Материалы XXXIII всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: ИП Коняхин (Book Jet), 2020. С. 273-276.
4. Губарев А.В., Губарева С.В., Чаплыгина Я.М. Разработка корректирующих действий с целью устранения несоответствий процесса управления средствами измерений // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2020. Материалы XXXIII всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: ИП Коняхин (Book Jet), 2020. С. 276-279.

УДК 637.12.04.07

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МОЛОКА

А.О. Акчулпанова

ФКОУ ВО «Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний», г. Рязань

С помощью физико-химических методов были определены основные показатели качества молока разных производителей: процентное содержание белка, жирность, плотность, кислотность, СОМО, группа чистоты.

Ключевые слова: молоко, физико-химические методы, фальсификация.

INVESTIGATION OF THE PHYSICO-CHEMICAL COMPOSITION OF MILK

A.O. Akchylpanova

Academy of law management of the federal penal service of Russia, Ryazan

With the help of physico-chemical methods, the main indicators of the quality of milk from different manufacturers were determined: protein percentage, fat content, density, acidity, SOMO, purity group.

Key words: milk, physico-chemical methods, falsification.

В современных условиях возрастающего ассортимента пищевых продуктов особенно актуальной является проверка качества производимых продуктов питания на всем протяжении технологического процесса производства, начиная от сырья и заканчивая выработкой готовой продукции [1,2]. Применяя современные методики исследования, можно не только контролировать качество продукции, но и своевременно вносить коррективы в технологический процесс с целью предотвращения сверхнормативных потерь на производстве [3,4].

Ни один пищевой продукт не фальсифицируется в таких размерах, как молоко, и поэтому сегодня проблемы с проведением всесторонней экспертизы подлинности всех видов молока особенно актуальны.

Цель исследований: определение физико-химических показателей в молоке в образцах молока следующих торговых марок: ТМ «Простоквашино», ТМ «Домик в деревне», ТМ «Эковакино».

Для подтверждения качества молока проводится ряд экспресс исследований, позволяющих определить основные характеристики, такие как жирность, кислотность, плотность, содержание белка, а также процентное содержание сухого остатка.

Кислотность молока является одним из наиболее важных показателей его свежести. Она обусловлена наличием дигидрофосфатов натрия, калия, кальция, а также лимоннокислых солей и углекислоты [5]. В ходе

длительного хранения кислотность молока может существенно возрастать, поскольку происходит накопление молочной кислоты. Для свежего молока установлена кислотность, значение которой варьируется от 16 до 18 Т°. При значении порядка 22 Т° молоко считается прокисшим [6].

Таблица 1

Физико-химические показатели молока в зависимости от его жирности

Наименование показателя, единицы измерения	Результаты испытаний			Нормативное значение
	ТМ «Простоквашино»	ТМ «Домик в деревне»	ТМ «Эвовакино»	
М. д. белка, %	3,02	2,97	2,83	Не менее 2,8
М. д. жира, %	2,300	2,4	2,400	Не менее 2,5
Плотность, кг/м ³	1028,5	1028,0	1028,0	Не менее 1027,0
Кислотность, °Т	20,0	18,6	19,4	От 16,0 до 21,0
М. д. СОМО, %	11,1	11,0	12,2	10 – 13%
Группа чистоты	I	I	I	Не ниже I

Из полученных результатов видно, что все исследуемые образцы соответствуют установленному ГОСТу и являются свежими. Жирность молока – главный показатель качества молочной продукции. Количество жира может быть общим и относительным. Чаще всего используется относительная, позволяющая определить жирность молочных продуктов в процентном соотношении. В ходе проведения данного исследования было замечено незначительное занижение практического результата по сравнению со значением, указанным на упаковке, что можно объяснить проведенной термической обработкой образцов.

Так же показателем натуральности молока является плотность. Напрямую она зависит от содержания жира в молоке. Иначе говоря, чем больше содержание жира в молоке, тем ниже его плотность. Все полученные показатели плотности входят в установленные нормы.

Содержание сухого остатка исследуемых образцов также соответствует показателям ГОСТа: ТМ «Простоквашино» – 11,1% ТМ «Домик в деревне» – 11,0%, ТМ «Эвовакино» – 12,2%. Следует отметить, что образец ТМ «Эвовакино» содержит наиболее высокое количество СОМО.

Содержание белка в молоке является основным качественным параметром. Содержание белка – показатель, определяющий стоимость молока, с другой стороны, количество белка в молоке и молочных продуктах

является объектом фальсификации. В ходе исследований выявлено, что содержание белка в исследуемых образцах находится в допустимых пределах.

Один из главных показателей качества молока – санитарно-гигиеническое его состояние, которое зависит от соблюдения санитарных норм на всех этапах его получения, обработки, хранения и транспортировки. О санитарно-гигиеническом состоянии молока судят по загрязнению его механическими примесями, т.е. по группе чистоты. Все исследуемые образцы соответствуют первой группе: на фильтре отсутствовали отдельные частицы механических примесей (менее 3 мг).

Таким образом, фальсифицированного продукта среди исследуемых образцов молока по исследуемым показателям не обнаружено.

Библиографический список

1. Chernikova O., Pityurina I., Terentyev A., Rakhmaev E. Analysis of safety indicators for poultry products produced in subsidiary farms in penitentiary facilities // *Agronomy Research*. 2020. – Т. 18. № Special Issue 3. – С. 1640-1648.
2. Миракова И.С., Наприс Ж.С., Черникова О.В. Оценка качества продукции животного происхождения, поставляемой для нужд УИС / Учебное пособие по дисциплине "Товароведение и экспертиза товаров (поставляемых для нужд УИС)" / Курск, 2019. – 133 с.
3. Жильников А.А. Локализация магнитовосприимчивых фракций примесных частиц в пищевой продукции и сырье // Сб. тез. выступ. и докл. участников Международной научно-практической конференции. Рязань. 2020. С. 18-20.
4. Питюрина И.С., Черникова О.В. Методика оценки показателей контроля качества и безопасности продовольственных товаров, поставляемых для нужд УИС / В сборнике: Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2019. – Рязань, 2019. – С. 325-328.
5. Лобзова В.А., Баранова Н.В. Физико-химический анализ молока разных производителей // *Вестник ТвГУ. Серия "Химия"*, 2020. – № 1 (39). – С.128-134.
6. Сучкова Е.П., Белозерова М.С. Методы исследования молока и молочных продуктов: Учеб.-метод. пособие / СПб.: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2015. – 47 с.

УДК 502.05: 635.116

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Е.С. Балашова

ФКОУ ВО «Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний», г. Рязань

В условиях повышенной степени загрязнения почвы тяжелыми металлами (Cu, Zn, Pb, Cd), для получения экологически безопасной рекомендуется применять в качестве детоксикантов удобрительные органические, органо-минеральные и минеральные смеси.

Ключевые слова: *чернозем оподзоленный, тяжелые металлы, детоксикация, свекла кормовая.*

THE CONTENT OF HEAVY METALS IN CROP PRODUCTION

E.S. Balashova

Academy of law management of the federal penal service of Russia, Ryazan

In conditions of an increased degree of soil contamination with heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd), it is recommended to use organic fertilizers, organo-mineral and mineral mixtures as detoxifiers to obtain an environmentally safe one.

Key words: *podzolized chernozem, heavy metals, detoxification, fodder beet.*

В настоящее время стало очевидным фактом то, что все непредвиденные отрицательные последствия антропогенной деятельности человека существенно влияют на биологический режим окружающей природной среды. Все это связано с отсутствием понимания целостности природы. Поэтому земледелие должно быть направлено на сокращение выхода химических веществ из биологического круговорота. Попавшие в почву металлы в основном фиксируются гумусосодержащими горизонтами. Между тем сама почва, являясь природным телом, при загрязнении становится вторичным источником загрязнения приземного воздуха, природных вод и растениеводческой продукции [1,2].

Технологические выбросы от стационарных и передвижных источников загрязнения окружающей среды поступают в атмосферу, а затем, выпадая на земную поверхность, накапливаются в верхних горизонтах почвы, вновь включаются в природные и техногенные циклы миграции.

Чернозем является сильным аккумулятором ТМ, в связи с этим, актуальной становится проблема разработки агро-мелиоративных мероприятий по санации техногенно загрязненных черноземов и получению безопасной продукции растениеводства [3,4].

Исследования проведены на оподзоленном тяжелосуглинистом черноземе в условиях полевого лизиметрического опыта.

Целью данной работы являлось изучение влияния приемов детоксикации чернозема оподзоленного, загрязненного тяжелыми металлами, на аккумуляцию их в свекле кормовой.

Для достижения поставленной цели были проведены натурные исследования в лизиметрах, заряженных оподзоленным черноземом и загрязненным солями меди, свинца, цинка и кадмия [5,6].

Было разработано шесть вариантов опыта, с применением различных детоксикантов (табл.1).

Таблица 1 – Схема эксперимента

№ п/п	Вариант опыта
1	Б/у – без удобрений
2	Н100 – навоз КРС в дозе 100 т/га
3	Н100Н1Р1К1 – навоз КРС в дозе 100 т/га + азот, фосфор, калий 60 т д.в. на га
4	Н1Р2К1 – азот, фосфор, калий 120 т д.в. на га
5	Н1Р4К1 – азот, фосфор, калий 180 т д.в. на га
6	Н1Р8К1 – азот, фосфор, калий 240 т д.в. на га 1 раз в 4 года

Изучаемые системы применения удобрений усиливают экологические функции почвы за счет оптимизации питания биологически необходимыми элементами. Поэтому продуктивность сельскохозяйственных культур резко повышается.

Поступая в растения, ТМ распределяются в их органах и тканях неравномерно. В корнеплодах, имеющих в своей толще проводящую систему, могут накапливаться ТМ, но значительно меньше, чем в вегетативной массе растений. Содержание ТМ в корнеплоде убывает от кончика к его головке.

При изучении химического состава корнеплода, было взято одна четвертая часть корнеплодов, которые измельчались. В таблице 2 представлены результаты исследования влияния удобрительных средств (систем удобрений) на фоне искусственного комплексного загрязнения солями Cu, Zn, Pb, Cd на кормовую продукцию.

Таблица 2 – Влияние детоксикантов на содержание тяжелых металлов в кормовой свекле на загрязненном черноземе

Варианты	Корнеплоды кормовой свеклы, мг/кг натуральная влага / сухое вещество			
	Cu	Zn	Pb	Cd
Б/у	1,92/29,9	14,6/105,2	0,3/5,5	0,033/0,5
Н100	1,30/10,1	10,4/81,3	0,18/1,4	0,024/0,2
Н100 Н1Р1К1	1,15/8,9	9,2/71,3	0,21/1,6	0,018/0,2
Н1Р2К1	1,17/9,7	7,86/65,1	0,17/1,4	0,020/0,2
Н1Р4К1	0,96/7,1	10,1/74,5	0,14/1,1	0,022/0,2
Н1Р8К1	1,32/10,3	13,2/103,0	0,17/1,4	0,022/0,2
МДУ	30	100	5,0	0,3

Корнеплоды кормовой свеклы, как органы накопления ассимилянтов при использовании различных удобрительных средств в какой-то степени становятся защищёнными от токсикантов. В опыте получен урожай, отвечающий гигиеническим требованиям по содержанию Cu, Zn, Pb, Cd.

Библиографический список

1. Евтюхин В.Ф., Ильинский А.В., Черникова О.В. Влияние систем удобрений на продуктивные функции сельскохозяйственных культур в условиях смоделированного загрязнения чернозема тяжелыми металлами // *Агрохимический вестник*. 2011. № 3. С. 24-26.
2. Серегина Т.А., Жильников А.А., Мажайский Ю.А. Ограничения и резервы развития органического земледелия // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. № 5. С. 109-116.
3. Черникова О.В. Экологическое обоснование комплексных приемов реабилитации черноземов, загрязненных тяжелыми металлами (на примере Рязанской области) / автореферат дис. ... кандидата биологических наук / Рос. гос. аграр. ун-т. Рязань, 2010.
4. Черникова О.В. Экологическое обоснование комплексных приемов реабилитации черноземов, загрязненных тяжелыми металлами (на примере Рязанской области) / диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Российский государственный аграрный университет. Рязань, 2010. 24 с.
5. Питюрина И.С., Черникова О.В. Методика оценки показателей контроля качества и безопасности продовольственных товаров, поставляемых для нужд УИС // В сборнике: *Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2019*. Сборник трудов XXXII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов. Под общей редакцией В.И. Жулева. 2019. С. 325-328.
6. Черникова О.В., Карпов А.Н. Приемы восстановления плодородия черноземных почв, загрязненных тяжелыми металлами // *Агрохимический вестник*. 2014. № 2. С. 24-25. 178 с.

УДК 631.9:633.49

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ
ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ**

Ю.Е. Гусакова, И.С. Питюрина
Академия ФСИН России, г. Рязань

В данной статье рассматриваются методы экологического контроля. Обсуждается необходимость проверки контроля качества продукции до поступления ее на прилавок магазинов.

Ключевые слова: *методы, экологический контроль, картофель, качество, контроль качества.*

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL COMPONENT OF POTATO CULTIVATION TECHNOLOGY

J.E. Guskova, I.S. Pityurina

Academy of the Federal Penitentiary Service of Russia, Ryazan

This article discusses methods of environmental control. The necessity of checking the quality control of products before they arrive on the store counter is discussed.

Keywords: *methods, environmental control, potatoes, quality, quality control.*

Развитие сельского хозяйства обуславливает все более возрастающие темпы механизации. Сельскохозяйственные машины вследствие значительной массы, скорости перемещения, использования топлива в качестве энергоносителя, необходимости их ремонта и хранения создают ряд экологических трудностей, накопление которых может перерасти в трудноразрешимые экологические проблемы [1]. Воздействие сельскохозяйственной техники на факторы природной среды при возделывании картофеля заключается в следующем [2-4]:

1) Уплотнение почвы, особенно при внесении навоза навозоразбрасывателями.

2) Разрушение почвы при основной ее обработке и проведения технологических операций выращивания сельскохозяйственных культур.

3) Технологические потери почвы вследствие выноса плодородной земли с сельскохозяйственной продукцией и на рабочих органах машины за пределы поля, что очень часто наблюдается при окучивании и уборке картофеля.

4) Возможно загрязнение почв и вод горючим и маслами вследствие утечки из двигателей, гидросистем и смазки при транспортировке и заправке машин.

Одним из основных факторов повышения продуктивности сельскохозяйственного производства является химизация. Активное применение минеральных удобрений может привести к значительному загрязнению окружающей среды.

Загрязнение природной среды минеральными удобрениями оказывает негативное влияние практически на все звенья биосферы. Нитраты, в результате вымывания из пахотного горизонта накапливаются в подземных водах, что значительно снижает её пригодность для питья. Тяжелые металлы, присутствующие в минеральных удобрениях, попадая через растительводческую продукцию в организм животных и человека, вызывают различные заболевания. Неправильное применение азотных удобрений ведёт к повышению нитратов в клубнях картофеля.

Препятствовать всему этому помогает экологический контроль.

Экологический контроль - это определенный вид деятельности государственных и общественных органов по наблюдению за состоянием окружающей природной среды, ее изменениями под влиянием хозяйственной

и иной деятельности, проверке выполнения планов и мероприятий по охране природы, рациональному использованию природных ресурсов, оздоровлению природы, соблюдению требований природоохранного законодательства и нормативов качества окружающей природной среды.

В соответствии с действующим законодательством основными задачами экологического контроля являются:

- наблюдение за состоянием окружающей природной среды и ее изменением под влиянием хозяйственной и иной деятельности;
- проверка выполнения планов и мероприятий по охране природы, рациональному использованию природных ресурсов, оздоровлению окружающей природной среды, соблюдение требований природоохранительного законодательства.

Таким образом, экологический контроль состоит из двух тесно связанных этапов: сбор и обработка необходимых исходных данных и осуществление мероприятий по предупреждению и устранению экологических правонарушений на основе информации, полученной в процессе наблюдений [5].

Для реализации первого этапа используется мониторинг окружающей среды. Для решения задач второго этапа существуют две формы - предупредительная и карательная.

Предупредительная форма экологического контроля включает в себя разработку и введение в действие нормативов качества окружающей природной среды и рационального использования природных ресурсов. К данной форме относится соблюдение предприятием всех законодательных норм и правил, в том числе в соответствии с Законом РФ «Об охране атмосферного воздуха» юридические лица, имеющие стационарные источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, должны осуществлять разработку ПДВ и предельно допустимых нормативов вредного физического воздействия на атмосферный воздух.

Карательная форма экологического контроля применяется в тех случаях, когда последствия правонарушений не позволяют ограничиться только предупреждением. Она выражается в различных видах юридической ответственности.

Методы осуществления экологического контроля проявляются:

1. наблюдении за состоянием объектов контроля;
2. проведении проверок по соблюдению законодательства и выполнению обязательных мероприятий в области охраны окружающей среды;
3. пресечение экологически вредных действий;
4. выдаче разрешений на природопользование, выброс, сброс, захоронение вредных веществ;
5. установление нормативов качества окружающей среды и лимитов вредного воздействия на нее;

6. привлечение к административной ответственности в виде наложения штрафа за нарушение закона.

Делая вывод, можно сказать, что методы экологического контроля и контроля качества за продукцией очень важны в современном мире. Наверное, нет на Земле такого человека, который не знал бы простой истины: природа — наш родной дом. И от того, что с ней происходит, во многом, если не полностью, зависит и будущее всего человечества.

Библиографический список

1. Питюрина, И.С. Влияние предпосадочной обработки клубней на урожайность картофеля / И.С. Питюрина, Д.В. Виноградов, Г.Д. Гогмачадзе // АгроЭкоИнфо, 2021. – № 4 (46).
2. Питюрина, И.С. Методика оценки показателей контроля качества и безопасности продовольственных товаров, поставляемых для нужд УИС / И.С. Питюрина, О.В. Черникова // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2019: сб. XXXII всерос. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. (04-06 декабря 2019 , Академия ФСИН России). – Рязань: из-во ИП Коняхин А.В. - Под общей редакцией В.И. Жулева. 2019. С. 325-328.
3. Серегина Т.А., Жильников А.А., Мажайский Ю.А. Ограничения и резервы развития органического земледелия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 5. С. 109-116.
4. I S Pityurina, D V Vinogradov, E I Lupova and M V Evsenina Using the biologization elements in potato cultivation technology. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 723 (2021) 032047. doi:10.1088/1755-1315/723/3/032047.
5. Питюрина, И.С. Продуктивность и технологические показатели качества клубней сортов картофеля, выращенных в условиях Нечерноземной зоны / И.С. Питюрина, Д.В. Виноградов // Вестник КрасГау, 2021. – №1. – С.118-125.

УДК 664

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК

Д.Д. Десятова

ФКОУ ВО «Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний», г. Рязань

Рассмотрены вопросы, касающиеся терминологии, правового регулирования производства и обращения пищевых добавок и ароматизаторов, принятой в РФ системы подтверждения безопасности пищевых ингредиентов и анализа и контроля качества пищевых добавок.

Ключевые слова: пищевые добавки, безопасность, продукция.

METHODS OF ANALYSIS AND QUALITY CONTROL OF FOOD ADDITIVES

D.D. Desyatova

The academy of the fps of Russia, Ryazan

The issues concerning terminology, legal regulation of production and circulation of food additives and flavorings, the system of food ingredients safety confirmation and analysis and quality control of food additives adopted in the Russian Federation are considered.

Key words: *food additives, safety, products.*

Анализ – главное средство контроля продуктов питания и управления технологическими процессами пищевых производств. Трудно переоценить значение химического анализа в производстве пищевых продуктов. Поэтому важно своевременно приобщить будущих специалистов пищевых предприятий к основам анализа, привить навыки исследовательской деятельности. Химический контроль пищевого производства – наука о химических и физико-химических методах исследования, позволяющих управлять технологическими процессами с целью получения высококачественных продуктов питания [1-3].

Е - добавки - пищевые добавки – вещества, использующиеся в технологических целях в процессе производства пищевых продуктов, упаковки, транспортировки или хранения для придания им желаемых свойств. В нашей стране и за рубежом постоянно ведутся специальные исследования, в результате которых некоторые пищевые добавки попадают в категорию разрешенных, а другие запрещены для использования [4].

Пищевая добавка может состоять из единственного химического вещества, быть сложной смесью или представлять собой естественный продукт. Необходимость полной информации о химическом составе, в том числе описание, сырье, методы производства, анализ загрязнителей одинаково относится к каждому типу добавок. Если добавка состоит из одного вещества, проводится в основном анализ самых значительных компонентов и предполагаемых загрязнений, причем особое внимание уделяется потенциально токсичным загрязнителям. Для пищевых добавок, производимых из природных продуктов, чрезвычайно важно определить источник и методы производства.

Согласно системе «Кодекс алиментариус», классификация пищевых добавок производится по их назначению и выглядит следующим образом:

- E100—E182 — красители;
- E200 и далее — консерванты;
- E300 и далее — антиокислители (антиоксиданты);
- E400 и далее — стабилизаторы консистенции
- E500 и далее — эмульгаторы;
- E600 и далее — усилители вкуса и аромата;

E700—E800 — запасные индексы для другой возможной информации;

E900 и далее — антифламинги, противопенные вещества;

E1000 и далее — глазирующие агенты, подсластители, добавки, препятствующие слеживанию сахара, соли, добавки для обработки муки, крахмала и т.д.

Пищевые добавки, согласно российскому санитарному законодательству, не допускается использовать в тех случаях, когда необходимый эффект может быть достигнут технологическими методами, технически и экономически целесообразными. Не разрешается также введение пищевых добавок, способных маскировать технологические дефекты, порчу исходного сырья и готового продукта или снижать его пищевую ценность [5]. Пищевые продукты для детского питания должны быть изготовлены без применения каких-либо пищевых добавок [6].

Метод идентификации генетически модифицированных источников растительного происхождения с использованием биологического микрочипа основан на асимметричной мультиплексной полимеразной цепной реакции (амПЦР) с последующей гибридизацией продуктов этой амПЦР на биологическом микрочипе. Метод одновременно устанавливает наличие или отсутствие в анализируемой пробе не менее пяти различных трансгенных последовательностей ДНК.

Рефрактометрический и поляриметрический оптические методы широко используют в практике анализа пищевых продуктов. При прохождении через поверхность раздела двух сред световой луч отклоняется от первоначального направления, т.е. преломляется. Величина угла отклонения зависит от концентрации и температуры среды. Угол падения и преломления связан соотношением, которое называется показателем преломления. Рефрактометрия основана на измерении показателя преломления. Некоторые вещества обладают оптической активностью. Они способны вращать плоскость поляризованного луча. Метод поляриметрии основан на определении угла вращения поляризованного луча.

Метод количественного анализа, основанный на точном измерении массы определяемого вещества, выделенного в виде неорганических или органических соединений, получил название гравиметрического, или весового, анализа. Атомно-абсорбционный метод анализа получил широкое распространение в практике вследствие своих достоинств, к числу которых относится высокая чувствительность. В настоящее время известны методы определения более восьмидесяти элементов, среди которых жизненно важные - Na, K, Mg, Ca, Cu, Zn, P и микроэлементы - Cd, Hg, B, Pb, Sb, As, Mn и др.

Титриметрический анализ (титрование) – методы количественного анализа в аналитической и фармацевтической химии, основанные на измерении объема раствора реактива известной концентрации, расходуемого для реакции с определяемым веществом.

Не все Е-добавки приводят к негативным последствиям, ведь без

некоторых из них невозможно нормальное функционирование организма человека. Но в то же время, попадая «неведомыми» путями в торговлю, обходя законы, вредные пищевые добавки попадают в наши продукты, нанося непоправимый вред здоровью.

Библиографический список

1. Chernikova O., Pityurina I., Terentyev A., Rakhmaev E. Analysis of safety indicators for poultry products produced in subsidiary farms in penitentiary facilities // *Agronomy Research*. 2020. Т. 18. № Special Issue 3. С. 1640-1648.
2. Миракова И.С., Наприс Ж.С., Черникова О.В. Оценка качества продукции животного происхождения, поставляемой для нужд УИС / Учебное пособие по дисциплине "Товароведение и экспертиза товаров (поставляемых для нужд УИС)" / Курск, 2019. 133 с.
3. Питюрина И.С., Черникова О.В. Методика оценки показателей контроля качества и безопасности продовольственных товаров, поставляемых для нужд УИС / В сборнике: Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2019. Рязань, 2019. С. 325-328.
4. Комарова С. Г., Найденова Н. С. Применение пищевых добавок на российском рынке// *Успехи в химии и химической технологии*. Том XXIX. 2015. № 2. С.58 – 60.
5. Жильников А.А. Выявление скрытых примесных металлов в пищевой продукции и сырье // В сб. тез. выступ. и докл. участников к 140-летию уголовно-исполнительной системы России и 85-летию Академии ФСИН России: в 10 т. Рязань. 2019. С. 70-71.
6. Никифорова Т.А., Меледина Т.В., Иванченко О.Б. Пищевые добавки и ароматизаторы. Физико-химические и функционально-технологические свойства: Учеб. пособие. / СПб.: СПбГУНиПТ, 2009. 217 с.

УДК 621.396.96; 519.21

СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

А.А. Жильников¹, Т.А. Жильников¹, В.И. Жулев²

¹Академия ФСИН России, г. Рязань

²ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрены проблемные вопросы в рамках реализации технического зрения, разработки оригинального способа обнаружения скрытых объектов, расположенных как за габаритными препятствиями вне прямой радиовидимости, так и в силу конструктивных особенностей не отражающих, а рассеивающих радиоволны.

Ключевые слова: техническое зрение, томографические принципы в радиолокации, обнаружение скрытых объектов, радиоволны.

METHOD FOR DETECTING HIDDEN OBJECTS IN THE IMPLEMENTATION OF TECHNICAL VISION

A.A. Zhilnikov¹, T.A. Zhilnikov¹, V.I. Zhulev²

¹Academy of the Federal Penal Service of Russia, Ryazan

²Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

Problematic issues in the framework of the implementation of technical vision, the development of an original method for detecting hidden objects located both behind overall obstacles out of direct radio visibility and due to design features that do not reflect, but scatter radio waves are considered.

Key words: technical vision, tomographic principles in radiolocation, detection of hidden objects, radio waves.

В настоящее время методы технического зрения динамично развиваются, а сферы их применения весьма обширны и применимы ко всем современным техническим системам: медицинской диагностике, робототехнике, биотехнологиях, аэрокосмической отрасли, распознавании информации и многих других областях [1-3]. Определение пространственного местоположения является одной из главных задач основных задач технического зрения, которое на сегодняшний день решаются различными методами традиционной активной радиолокации [4].

В традиционной активной радиолокации с пассивным ответом существуют несколько классических вариантов путей, по которым отраженная от объекта и от иной поверхности электромагнитная волна возвращается к приемнику. В работе сделана попытка перевода ложных сигналов классической активной радиолокации с пассивным ответом в категорию полезных. Помочь в этом призвано использование томографических принципов для организации процедуры измерений и последующая реконструкция (восстановление) радиолокационной сцены. Поскольку томография относится к классу задач, трактующих результаты косвенных измерений, заданных интегральными уравнениями Фредгольма I рода, определяя указанный класс задач как некорректно поставленных [5], то, соответственно, решение интегрального уравнения связано с разрешением вопросов о существовании решения, его единственности и устойчивости. Поэтому, ориентируясь на то, что эмпирическое исследование не является активным и должно проводиться в условиях малоракурсности ограниченного количества и не всегда полного объема данных, необходимых для реконструкции радиолокационной сцены, было принято решение отойти от детерминированного описания предметной области и обратиться к стохастическому анализу.

Таким образом, задача состоит в разработке способа реконструкции радиолокационной сцены по эмпирическим данным проекционных зависимостей, позволяющего определять радиус-вектор $\vec{\Xi} = (\Xi, \varphi)$ с координатами наклонной дальности Ξ и азимута φ положения объекта из множества объектов $\{\vec{\Xi}\}$ радиолокационной сцены. Условием задачи допускается возможное отсутствие отраженного эхо-сигнала характерного для традиционной активной моностатической радиолокации с пассивным ответом, но не исключающего возвращение радиоэха в результате многократного отражения сканирующего сигнала внутри радиолокационной сцены, в том числе от других объектов и по другим азимутальным углом β [6–8].

Целью работы является в рамках реализации технического зрения разработка оригинального способа обнаружения скрытых объектов, расположенных как за габаритными препятствиями вне прямой радиовидимости, так и в силу конструктивных особенностей не отражающих, а рассеивающих радиоволны.

Библиографический список

1. Мошкин В.И., Петров А.А., Титов В.С., Якушенков Ю.Г. Техническое зрение роботов. М.: Машиностроение. 1990. 272 с.
2. Жильников А.А., Жильников Т.А., Жулев В.И. Использование технического зрения при решении радиолокационных задач // Биомедицинская радиоэлектроника. 2020. Т. 23. № 3. С. 26-36. DOI: 10.18127/j15604136-202003-04.
3. Пью А. Техническое зрение роботов. М.: Машиностроение. 1987. 320 с.
4. Жильников А.А., Жильников Т.А., Жулев В.И. Формирование исходных проекционных данных в томографии отражений при реализации технического зрения // Биомедицинская радиоэлектроника. 2021. Т. 24. № 4. С. 58-67. DOI: 10.18127/j15604136-202104-08.
5. Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Численные методы решения некорректных задач. М.: Наука. 1990. 232 с.
6. Жильников А.А., Жильников Т.А., Жулев В.И. Модель информационного канала для случая многократных отражений при реконструкции сложных радиолокационных сцен // Авиакосмическое приборостроение. 2020. № 2. С. 3-12. DOI: 10.25791/aviakosmos.02.2020.1140.
7. Жильников Т.А., Жулев В.И., Жильников А.А. Использование томографических принципов в активной радиолокации при реализации технического зрения // Биомедицинская радиоэлектроника. 2022. Т. 25. № 4. С. 29-38. DOI: 10.18127/j15604136-202204-04.
8. Жильников Т.А., Жулев В.И., Жильников А.А. Томографическая радиолокационная регистрация положения объектов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2022. № 1. С. 1-7. DOI: 10.25791/pribor.1.2022.1313.

УДК 613.17

АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

А.Д. Соловьева, И.С. Питюрина

«Академия права и управления ФСИН России», г. Рязань

Рассмотрены методы экологического контроля и контроля качества молока перед выпуском на рынок продуктов в целях уменьшения фальсификации товаров.

Ключевые слова: *качество молока, качество молочных продуктов, методы контроля качества.*

ANALYSIS OF INSTRUMENTAL METHODS OF QUALITY CONTROL AND SAFETY OF DAIRY PRODUCTS

A.D. Solovyova, I.S. Pityurina

«Academy of Law and Management of the Federal Penitentiary Service of
Russia», Ryazan

The methods of environmental control and quality control of milk before the release of products to the market in order to reduce the falsification of goods are considered.

Key words: *milk quality, quality of dairy products, quality control methods.*

Молоко и молочная продукция являются достаточно востребованными на рынке продуктов. Поэтому между продавцом и покупателем включают: центры стандартизации, метрологии и сертификации по определению качества реализуемой продукции. Это позволяет защитить потребителя от фальсифицированных товаров [1].

В бытовых условиях достаточно сложно определить качество молочной продукции. Только по органолептическим показателям, но данный метод не позволяет определить реальный уровень качества товара.

Молоко представляет собой питательную жидкость сложного химического состава, которая вырабатывается в молочной железе коров во время лактации. Оно является важным продуктом в рационе питания человека, поскольку содержит вещества, необходимые для жизнедеятельности организма [2, 3].

Контроль качества молока осуществляется с помощью следующих методов:

1) Определение органолептических показателей (ГОСТ-28283-89 «Молоко коровье. Метод органолептической оценки запаха и вкуса»). К данной группе относят показатели цвета, консистенции, запаха и вкуса.

Для определения цвета молоко помещают в прозрачную стеклянную тару (100-200мл) и рассматривают при естественном свете.

Консистенция определяется с помощью наблюдения за молоком после переливания по стенкам стеклянной емкости.

Для установления реального запаха, его подогревают в стакане на водяной бане до комнатной температуры.

Вкус молока устанавливают, попробовав его в небольшом количестве.

2) Определение плотности (ГОСТ 3625-84 «Молоко и молочные продукты. Методы определения плотности»). Плотность определяют соотношением массы молока к массе равного объема воды. Для этого используют молочный ареометр (лактоденсиметр).

3) Определение чистоты молока (ГОСТ 8218-89 «Молоко. Метод определения чистоты»). Чистота молока определяется с помощью прибора «Рекорд» (фильтровальное устройство).

Исходя от степени чистоты молоко разделяют на группы:

1) Молоко 1-й группы (без видимых механических примесей);

2) Молоко 2-1 группы (со слабозаметной загрязненностью фильтра);

3) Молоко 3-й группы (с механическими примесями, которые изменяют цвет фильтра с белого в серый, а также с частицами в виде точек.

4) Определение количества жира (ГОСТ 5867-90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира»). Установление количества жира производится сернокислотным способом (белки растворяются с помощью серной кислоты, освобождается жир и формируется амилово-серный эфир с наличием изоамилового спирта).

5) Определение количества белка в молоке (ГОСТ 25179-90 «Молоко. Методы определения белка»). Для этого используют рефрактометрический метод. В пенициллиновый флакон помещают 5 мл молока, 6 капель раствора хлорида кальция, после чего закрывают пробкой и перемешивают содержимое. После чего флакон помещают в водяную баню, вода должна достигать половины высоты флакона. Затем доводят до кипения водяную баню, после остывания, встряхивают флакон для разрушения белкового сгустка. Образовавшуюся прозрачную сыворотку отбирают и наносят на измерительную призму рефрактометра и проводят наблюдения, после чего вычисляют массовую долю белка в молоке.

6) Определение титруемой кислотности (ГОСТ 3624-92 «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности»). Титруемая кислотность является показателями свежести и натуральности молока. Градусы кислотности-количество миллилитров децинормального раствора гидроксида натрия или калия, потраченного на нейтрализацию 100 мл молока.

7) Определение бактериальной обсемененности (ГОСТ 9295-84 «Молоко и молочные продукты. Методы микробиологического анализа»). Определяется косвенным путем по активности редуктазы-фермента, который вырабатывается микроорганизмами и скапливается в молоке.

8) Определение количества соматических клеток (ГОСТ 23453-2014 «Молоко сырое. Методы определения соматических клеток»). Соматические

клетки можно определить визуальным методом и с использованием вискозиметра.

9) Определение ингибирующих веществ в молоке (ГОСТ 23454-79 «Молоко. Методы определения ингибирующих веществ»). Восстановление резазурина при развитии в молоке чувствительных к инкубирующим веществам микроорганизмов вида стрептококкус термофилус, чувствительность позволяет найти в молоке содержание пенициллина.

10) Определение качества термической обработки молока (ГОСТ 3623-73 «Молоко и молочные продукты. Методы определения пастеризации»). Используют изменение агрегатного состояния альбумина молока при нагревании, а также инактивирование ферментов молока пероксидазы и фосфатазы при определенной температуре.

Необходимо производить проверку качества продукции перед выходом на рынок, поскольку растет уровень фальсификации товаров в целях экономии. Любая фальсифицированная молочная продукция напрямую влияет на состояние здоровья человека, что затрагивает интересы государства по обеспечению продовольственной безопасности.

Библиографический список

1. Асенова Б.К., Ребезов М.Б., Топурия Г.М., Топурия Л.Ю., Смольникова Ф.Х. Контроль качества молока и молочных продуктов, 2013 г.
2. Коростелева Л.А., Долгошева Е.В., Романова Т.Н., Хахимов И.Н. Инновационные технологии производства, переработки и контроль качества молока, 2019 г.
3. Питюрина И.С. Методика оценки показателей контроля качества и безопасности продовольственных товаров, поставляемых для нужд УИС / И.С. Питюрина, О.В. Черникова // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2019: сб. XXXII всерос. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. (04-06 декабря 2019, Академия ФСИН России). – Рязань: из-во ИП Коняхин А.В. - Под общей редакцией В.И. Жулева. 2019. С. 325-328.

УДК 612.766.1

РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УПРАЖНЕНИЙ

М.С. Ашапкина^{1,2}

¹ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им.
В.Ф. Уткина», г. Рязань

²ООО «БИОТЕХПРОДАКТС», г. Рязань

Построена схема кинематической модели выполнения восстановительного упражнения. Реализованная кинематическая модель служит основой для создания цифровых моделей упражнений в целях получения траектории двигательного акта по данным одного инерциального датчика.

Ключевые слова: кинематическая модель, восстановительное упражнение, инерциальный датчик.

IMPLEMENTATION OF THE DIGITAL MODEL RESTORATIVE EXERCISES

M.S. Ashapkina^{1,2}

¹Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

²LLC BIOTEHPRODAKTS, Ryazan

A diagram of a kinematic model of performing a restorative exercise is constructed. The implemented kinematic model serves as the basis for creating digital exercises models in order to obtain the trajectory of the motor act according to the data of one inertial sensor.

Keywords: kinematic model, restorative exercise, inertial sensor.

Опорно-двигательный аппарат является сложной механической системой, с высокой степенью свободы. Кинематическая модель суставов человека состоит из подвижных соединений и костных звеньев, причем такая система может генерировать множество траекторий, обусловленных задачей конкретного двигательного акта. Сутью любого реабилитационного упражнения является создание нагрузки на мышцы, путем формирования четкой последовательности актов сгибания и разгибания [1].

Восстановительное упражнение является циклическим, конечность всегда возвращается в исходную позицию. При этом у каждого упражнения есть максимальная позиция, характеризующая максимальной деформацией в суставе. Как правило, протокол выполнения упражнения включает небольшое количество простых движений, которые способны выполнить практически любой человек без специальной спортивной подготовки.

Рассмотрим формирование траекторий движения одного из популярных упражнений «Сгибание стоп сидя». Модель сустава представим в виде кинематической пары: «голеностоп-колени-таз». В такой модели таз (точка F на рис.1) и голеностоп (точка A на рис.1) является неподвижной опорой с

шаровым шарниром, целевое движение инициируется в звене «колени-голеностоп», причем данная кинематическая пара образует единое звено. После предельного положения данного звена в пространстве происходит движение в обратном направлении в исходную позицию. Схема кинематической модели выполнения упражнения, построенная с помощью ПО Linkage, предназначенного для механического моделирования, представлена на рисунке 1.

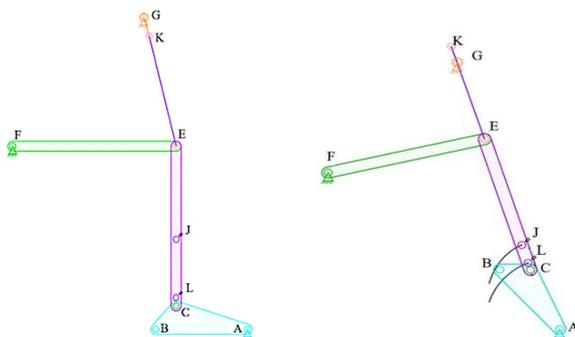


Рис. 1 – Схема кинематической модели выполнения упражнения «Сгибание стоп сидя»

Протокол упражнения исключает дополнительные движения и накладывает ограничение по движению колена только в плоскости XOY (сагитальной плоскости), пренебрежем фронтальными и горизонтальными перемещениями. Таким образом, рассматриваемая кинематическая модель восстановительного упражнения позволила получить механико-математическое описание выполнения движения.

Реализованная кинематическая модель служит основой для создания цифровых моделей восстановительных упражнений в целях получения траектории двигательного акта по данным одного инерциального датчика смартфона. Преимуществом инерциальных датчиков является возможность мониторинга двигательной активности в условиях повседневной жизнедеятельности без использования откалиброванных помещений, а также необходимости постоянного нахождения в зоне видеосъемки и покупки дополнительного оборудования [2].

Пусть имеется модельная траектория в точке крепления датчика движения на щиколотке в виде $Q(t) = \{Q_x(t), Q_y(t)\}$. Причем $Q(t_0)$ – это исходная позиция, а $Q_m(t)$ – максимально удаленная от исходного положения точка траектории, то есть предельная позиция (рисунк 2).

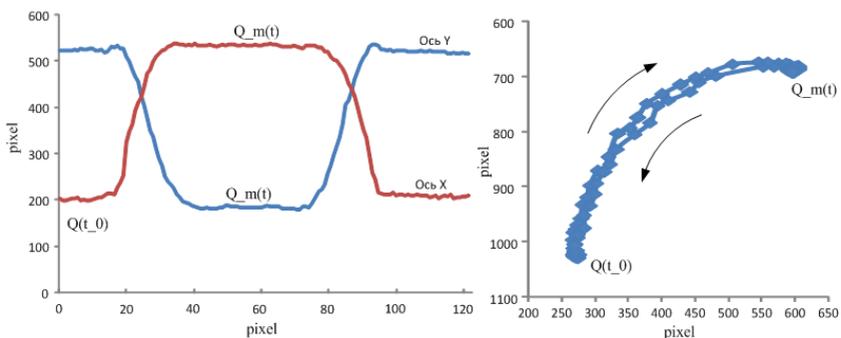


Рис. 2 – Пример формирования траектории упражнения по оси X для упражнения «Сгибание стоп сидя»

В результате построена модельная траектория изменения в пространстве положения выбранной точки на щиколотке. Данная траектория в графическом представлении имеет нормализованную колоколообразную форму. В связи с этим задача контроля правильности выполнения упражнения складывается из следующих подзадач:

1) Получение траектории движения в контрольной точке подвижного звена относительно звена неподвижной опоры.

2) Оценка меры схожести реальной траекторий $Q'(t)$ в контрольной точке со своим заранее известным шаблоном $Q(t)$.

Таким образом, для реализации задачи объективного контроля правильности выполнения упражнения предложен способ реабилитации и восстановления двигательной активности под аудиовизуальным самоконтролем на основе алгоритма динамической трансформации временной шкалы при учете дополнительных метрик и балльной системы оценивания, что позволит в дальнейшем разработать единую систему для дистанционного сопровождения выполнения физической реабилитации и восстановления двигательных функций опорно-двигательного аппарата [3].

Библиографический список

1. Бернштейн Н.А. Общая биомеханика. М.: ЦИТ - ВЦСПС, 1926. С. 416.
2. Ашапкина М.С., Алпатов А.В., Чекушин А.А., Федосеев А.В. Система удаленной физической реабилитации на основе мобильных технологий // Международный научно-прикладной журнал «Биомедицинская радиоэлектроника», Т. 22, № 5. 2019. С. 82-88.
3. Патент РФ № 2692535 С1, МПК А61В 5/11. Способ реабилитации и восстановления двигательной активности под аудиовизуальным самоконтролем. Опубликовано: 25.06.2019.

УДК 519.254

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ АНАЛИЗА БИМЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Г.А. Машевский, К.Д. Матов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург

Разработаны алгоритмы выбора подходящих критериев для анализа конкретных наборов биомедицинских данных. Создан прототип справочно-консультационного сайта позволяющий пользователю получить информацию о различных статических критериях, а также помощь в выборе оптимальных методов и критериев выполнения интересующих его задач.

Ключевые слова: *Анализ биомедицинских данных, поиск оптимального статистического критерия.*

DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR OPTIMIZATION OF THE ANALYSIS OF BIOMEDICAL DATA

G.A. Mashevskiy, K.D. Matov

Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg

Algorithms for selecting appropriate criteria for the analysis of specific sets of biomedical data have been developed. A prototype of a reference and consulting site has been created that allows the user to obtain information about various static criteria, as well as assistance in choosing the best methods and criteria for performing tasks of interest to him.

Key words: *Analysis of biomedical data, search for the optimal statistical criterion.*

Одним из важных этапов многих научных биомедицинских исследований является статистический анализ данных [1]. Развитие информационных технологий и вычислительной техники значительно увеличило его доступность для людей, не имеющих специальной математической подготовки [2]. С другой стороны это привело к тому, что во многих случаях, методы математической статистики стали применяться некорректно, из-за незнания пользователем особенностей их применения. Например, взаимодействия с различными врачами, мы столкнулись с тем, что многие из них путают такие понятия как «доверительный интервал среднего» и «среднеквадратичное отклонение». Дополнительно ситуация осложняется тем, что большинство статистических критериев имеет достаточно жёсткие требования к условиям допустимости их применения, а также могут быть эффективны только в определённых типовых ситуациях.

На данный момент в интернете доступны различные ресурсы, посвященные статистической обработке данных, в том числе и связанные с

обработкой биомедицинских данных. Есть большой выбор учебников по статистике, справочных материалов, статей, где подробно описан большой список понятий, методов исследований и возможных интерпретаций результатов. На некоторых сайтах представлены различного рода советы и помощники для определения методов оценки выборок, даются описания программ и их инструментов.

Однако из-за неполноты информации на многих ресурсах, рассредоточения её между разными литературными источниками, а также, в некоторых случаях, сложности в её изложении исследователь сталкивается с трудностями в выборе методов для анализа данных. Кроме того, как правило, эта информация структурируется исходя из математической формулировки проблемы, в то время, как для исследователя куда большее волнует ответ на вопрос выбора адекватного метода решения его медицинской задачи. Наконец практически отсутствуют какие-либо консультативные системы, которые позволили бы пошагово подобрать пользователю подходящего метода или критерия для решения его конкретной задачи.

В рамках нашей работы мы попытались создать прототип подобной консультативной системы. Для этого нам потребовалось выделить типичные математические задачи, возникающие в процессе проведения статистических медицинских исследований (на настоящем этапе мы рассматривали две из них – определение взаимосвязей между переменными и проверку наличия межгрупповых различий), провести систематизацию информации об особенностях их применения и разработать алгоритмы выбора подходящего критерия в зависимости от особенностей рассматриваемых данных. Конечным результатом нашей работы стало создание интернет сайта, внешний вид главной страницы которого представлен на рис. 1. Сам сайт доступен по адресу <https://me-seven-raccoon.github.io/-Portable/index.html>.

Статистика для биомедицинских данных

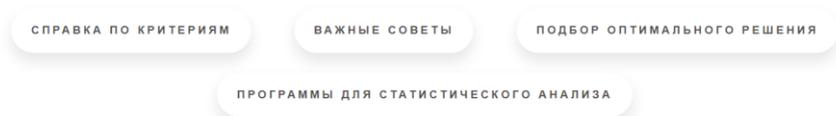


Рис. 1 – Внешний вид главного окна сайта

Как можно видеть, сайт содержит четыре основных раздела – «справка по критериям», «важные советы», «подбор оптимального решения», «программы для статистического анализа».

В первом из них содержится базовая информация по различным

статистическим критериям в структурированном виде. Пример подобной справки представлен на рис. 2.

Коэффициент корреляции Пирсона

1. Тип решаемой задачи	Поиск взаимосвязи переменных
2. Для чего используется	Критерий корреляции Пирсона позволяет определить, какова теснота (или сила) корреляционной связи между двумя показателями, измеренными в количественной шкале. При помощи дополнительных расчетов можно также определить, насколько статистически значима выявленная связь.
3. В каких случаях можно использовать	Переменная выражена в количественной шкале; анализируемые величины должны быть распределены по нормальному закону
4. Нулевая гипотеза (H0)	Отсутствует линейная связь между переменными; альтернативная гипотеза H1 имеет линейная связь между переменными
5. Интерпретация	При $p < 0,05$ корреляция между переменными не значима; при $p > 0,05$ корреляция между переменными значима
6. Может быть рассчитан в программах:	Statistica; Excel; MATLAB; R-Studio; SPSS; GraphPad; Statgraphics

Рис. 2 – Внешний вид окна справки по критериям

Раздел «Важные советы» содержит в себе общие рекомендации по анализу статистических данных, сформулированные нами, на основании накопленного опыта. В разделе «Программы для статистического анализа» содержится информация о распространённых в данный момент программах для статистического анализа данных.

Раздел «Подбор оптимального критерия» запускает диалоговое окно, в котором пользователь может выбрать тип решаемой им задачи, а также указать дополнительную информацию по анализируемым им данным. На рис. 3. Представлено окно, иллюстрирующее один из этапов данного процесса. В конечном итоге пользователь получит список статистических критериев, подходящих для анализа его данных или же сообщение об их отсутствии

Выберите характеристики данных

В СРАВНИВАЕМЫХ ВЫБОРКАХ ОТСУТСТВУЮТ ОДИНАКОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЛИБО ИХ МАЛО

Введите количество наблюдений в первой выборке (n1)

Введите количество наблюдений во второй выборке (n2)

ПЕРЕМЕННЫЕ ПРИНИМАЮТ НЕ МЕНЕЕ 3 РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ, ЛИБО ОДНА - 2 РАЗНЫХ ЗНАЧЕНИЯ, А ВТОРАЯ НЕ МЕНЕЕ 5

 В главное меню

Рис. 3 – Окно для ввода дополнительной информации о массиве

Таким образом результатом выполненной нами работы стало создание прототипа справочно-консультативной системы в виде интернет-сайта, которая позволит облегчить врачу выбор правильных статистических критериев анализа данных при проведении медико-биологических исследований.

Библиографический список

1. Банержи А. Медицинская статистика понятным языком, вводный курс / Пер. с англ. под ред. В. П. Леонова. – М.: Практическая медицина, 2007. – 287 с.
2. Зайцев В. М., Савельев С. И. Практическая медицинская статистик: Учебное пособие/ под редакцией академика РАМН, профессора, д. м. н. О. Г. Хурцилава. – Тамбов ООО «Цифра», 2013. – 580 с.

УДК 616.832-005.7

ОБЪЕМНАЯ ОСЦИЛЛОМЕТРИЯ В АНАЛИЗЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕРДЕЧНОГО ИНДЕКСА

Е.В. Пимахина¹, И.С. Селиверстов³, А.А. Пимахин¹, Н.М. Толкач²,
Е.П. Матюхин², А.А. Пимахин⁴, Е.Н. Радченко¹

¹ФГБОУ ВО Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, г. Рязань

²ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

³ГБУ РО «Областной клинический перинатальный центр», г. Рязань

⁴МАОУ «Лицей №4», г. Рязань

Расчет сердечного индекса с использованием математической модели позволил получить важный расчетный параметр для характеристики гемодинамического профиля. А также сравнить полученный параметр с данными объемной осциллометрии.

Ключевые слова: *сердечный выброс, ударный выброс, сердечный индекс объемная осциллометрия, математическая модель, гемодинамический профиль.*

VOLUME OSCILLOMETRY IN THE ANALYSIS OF THE STATISTICAL RELIABILITY OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE HEART INDEX

E.V. Pimakhina¹, I.S. Seliverstov³, A.A. Pimakhin¹, N.M. Tolkach²,
E.P. Matyukhin², A.A. Pimakhin⁴, E.N. Radchenko¹

¹Ryazan state medical university named after I.I. acad. I.P. Pavlova, Ryazan

²Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

³Regional clinical perinatal center, Ryazan

⁴Lyceum № 4, Ryazan

The calculation of the cardiac index using a mathematical model made it possible to obtain an important calculated parameter for characterizing the hemodynamic profile. And also compare the obtained parameter with the data of volumetric oscillometry.

Key words: *cardiac output, stroke output, cardiac index, volumetric oscillometry, mathematical model, hemodynamic profile.*

Определение сердечного индекса (СИ) входит в расширенный стандарт гемодинамического мониторинга. В клинической практике сердечный индекс надежный показатель гемодинамического профиля для больных в критическом состоянии. Показаниями для определения этого параметра являются острые нарушения кровообращения. Среди параметров гемодинамики сердечному индексу отводят ведущее место. На втором месте по значимости считают значение давления заклинивания в легочной артерии на третьем месте – артериальное давление среднее. Для анализа гемодинамического профиля больного кроме измерения артериального давления систолического (АДс), артериального давления диастолического (АДд), артериального давления среднего (АДср), артериального давления пульсового (АДп) необходимо определение давления заклинивания в легочной артерии (ДЗЛА) и определение сердечного индекса. Это возможно с использованием сложной методики транспульмональной термодиллюции. Данная методика инвазивна, требует постановки зонда в легочную артерию. Параметры, полученные методом транспульмональной гемодиллюции, отражают надежный профиль гемодинамики. Чаще всего данная методика применима в кардиохирургии.

Для рутинного измерения параметров работы сердца предложены неинвазивные методики к которым относят объемную осциллометрию.

Известно, что любой метод мониторинга показывает достоверные результаты у здоровых людей. В работе был определен сердечный индекс у 200 студентов методом объемной осциллометрии с использованием прибора Гемодин. Параметр сердечного индекса у этих же студентов был рассчитан по математическим формулам. Для расчета использовали данные АДс, АДд, АДср, АДп. Эти показатели получали при измерении давления аппаратом Рива-Роччи. Измерения проводили при комнатной температуре. В спокойном состоянии. У всех испытуемых фиксировали нормальный ритм и темп сердечных сокращений.

Для расчета сердечного индекса необходимо определить ударный объем сердца, сердечный выброс, площадь поверхности тела. Под сердечным выбросом понимают количество крови, которое проходит через камеры сердца за минуту. Для определения параметра был рассчитан ударный объем сердца. Под ударным объемом сердца понимают количество крови, которое поступает в аорту из левого желудочка за одну систолу. Зная ударный объем за систолу и количество систол в минуту определяют сердечный выброс сердца. Количество систол в минуту соответствует пульсу.

Для расчета ударного объема сердца использовали формулу:

$$\text{УОС} = 90.97 + (0.54 * (\text{Адс} - \text{Адд})) - (0.57 * \text{Адд}) - (0.61 * \text{возраст}) \quad (1)$$

Простая средняя арифметическая бимодального ($f=10$) ряда по систолическому артериальному давлению (Адс) составила 103.785 мм рт.ст с медианой 103.5, $Q_1=92.2$, $Q_3=114.5$. Размах вариации Адс составил 114 при среднем линейном отклонении в 14.325. Дисперсия по Адс составляет 376.309 при несмещенной оценке 378.2. Среднее квадратическое отклонение Адс равно 19.399 с оценкой 19.447. Поскольку Коэффициент вариации по Адс $v = 18.69\%$, а $v \leq 30\%$, то совокупность однородна, а вариация по систолическому артериальному давлению слабая. Линейный коэффициент вариации по Адс 13.8%, коэффициент осцилляции Адс = 109.84%. В ряду распределения по Адс наблюдается незначительная асимметрия ($-0.412/0.171 = 2.41 < 3$) со структурным коэффициентом асимметрии Пирсона 0.0147 и показателем эксцесса 1.86. Так как средняя квадратическая ошибка коэффициента эксцесса $0.334 > 3$, отклонение от нормального распределения по параметру Адс считается существенным. Значение $t_{кр}$ по таблице распределения Стьюдента для Адс 2.258. Стандартная (1.3751) и предельная (3.105) ошибки выборки формируют доверительный интервал модели по параметру систолического артериального давления: $(103.785 - 3.105; 103.785 + 3.105) = (100.68; 106.89)$. С вероятностью 0.95 можно утверждать, что среднее значение при выборке большего объема не выйдет за пределы найденного интервала. Вероятность выхода за нижнюю границу $P(\chi^2_{n-1} < hH) = \gamma/2 = 0.023$ при случайной ошибке дисперсии 312.21, вероятность выхода за верхнюю границу 0.977 при случайной ошибке дисперсии 481.11. Интервал (312.21; 481.11) покрывает параметр S^2 для Адс с надежностью $\alpha = 0.046$ ($\gamma=95.4\%$), а интервал (19.447; 19.447) покрывает параметр σ с надежностью $\gamma = 0.954$.

Простая средняя арифметическая диастолического артериального давления составляет 53.28 мм.рт.ст. В анализируемой выборке диастолическое артериальное давление составляет 62 мм.рт.ст. встречается у 14 пациентов, медиана 53 мм.рт.ст, квартиль $Q_1 = 45$, $Q_3 = 61$. Размах вариации диастолического артериального давления 62. Среднее линейное отклонение АДд = 8.191. Дисперсия АДд 104.702 с несмещенной оценкой 105.228. Среднее квадратическое отклонение 10.232 с оценкой 10.258. Так как коэффициент вариации v (АДд) = 19.2%, и $v \leq 30\%$, то совокупность по параметру диастолического давления однородна со слабой вариацией, линейный коэффициент которой составляет 15.37%, а коэффициент осцилляции = 116.37%. В анализируемом ряду распределения по параметру диастолического давления наблюдается незначительная асимметрия ($-0.0417/0.171 = 0.24 < 3$) со структурным коэффициентом асимметрии Пирсона -0.85. Эксцесс АДд 0.4 со средней квадратической ошибкой коэффициента

эксцесса 0.334, который < 3 , поэтому отклонение по диастолическому давлению от нормального распределения считается несущественным. Значение $t_{кр}$ для АДд по таблице распределения Стьюдента 2.258. Стандартная ошибка выборки по АДд = 0.7254 с предельной ошибкой выборки для среднего 1.638. Доверительный интервал диастолического давления: $(53.28 - 1.638; 53.28 + 1.638) = (51.642; 54.918)$. С вероятностью 0.95 можно утверждать, что среднее значение диастолического давления при выборке большего объема не выйдет за пределы найденного интервала. Вероятность выхода диастолического давления за нижнюю границу $\chi^2(199; 0.023) = 241.0579$, со случайной ошибкой дисперсии 86.87. Вероятность выхода диастолического давления за верхнюю границу $\chi^2(199; 0.977) = 156.432$ со случайной ошибкой дисперсии верхней границы 133.86. Интервал $(86.87; 133.86)$ покрывает параметр S^2 с надежностью $\alpha = 0.046$ ($\gamma = 95.4\%$), интервал $(10.258; 10.258)$ покрывает параметр σ с надежностью $\gamma = 0.954$. Диастолическое давление пациентов в исследуемой группе отличалось от среднего значения 53.28 мм.рт.ст. в среднем на 10.232 мм.рт.ст.

Простой средний арифметический возраст исследуемого 22.44 года. 99 пациентов в возрасте 23 лет. Медиана составляет 23 года, $Q1 = 22$ года, $Q3 = 23$ года. Размах вариации 43 года, среднее линейное отклонение 2.297. Дисперсия 24.986 при несмещенной оценке 25.112. Среднее квадратичное отклонение возраста 4.999 с оценкой 5.011. Коэффициент вариации возраста 22.28%. Совокупность однородна по возрасту, и вариация возраста слабая, так как средний разброс $v = 22.28\%$; $v \leq 30\%$. Линейный коэффициент вариации возраста 10.24%, осцилляции – 191.62%. Степень асимметрии выборки по возрасту составляет 2.77 с существенной асимметрией $(2.77/0.171 = 16.23 > 3)$ по средней квадратической ошибке и структурным коэффициентом асимметрии Пирсона -0.11. Поскольку эксцесс > 3 , то отклонение от нормального распределения по возрасту считается существенным. $t_{кр}$ по таблице распределения Стьюдента = 2.258. Стандартная ошибка выборки для среднего 0.3543, а предельная = 0.8. Доверительный интервал модели по возрасту $(22.44 - 0.8; 22.44 + 0.8) = (21.64; 23.24)$, с вероятностью 0.95 можно утверждать, что среднее значение при выборке большего объема не выйдет за пределы найденного возрастного интервала. Вероятность выхода возраста за нижнюю границу 0.023 со случайной ошибкой дисперсии 20.73. Вероятность выхода возраста за верхнюю границу $\chi^2(199; 0.977) = 156.432$ при случайной ошибке дисперсии $tB = 31.95$. Доверительный интервал для среднеквадратического отклонения возраста $(20.73; 31.95)$ покрывает параметр S^2 с надежностью $\alpha = 0.046$ ($\gamma = 95.4\%$), а интервал $(5.011; 5.011)$ покрывает параметр σ с надежностью $\gamma = 0.954$.

Таким образом, коэффициенты 90.97, 0,54, 0,57, 0,61 – константные для выборки коэффициенты значимости параметров.

Статистическая модель ударного объема подтверждается значимой ($T_{kr}=0.14$) ранговой корреляцией по Спирмену между объективным и расчетным сердечным индексом, которая характеризуется слабой прямой связью при $r=0.462$. Выявлена значимая ранговая корреляционная связь между оценками по двум тестам Кендалла, где $\Phi(z_{kr}) = 0.475$, а $z_{kr} = 1.96$ и $T_{kr}=0.09$.

Для расчета сердечного выброса сердца использовали формулу:

$$CB = UOC * \text{пульс} \quad (2)$$

Простое среднее арифметическое значение пульса составляет 73.685 уд/мин, 60 уд/мин встречалось чаще всего (у 37 пациентов), медиана = 71, квартиль $Q1 = 60$, $Q3 = 83$. Размах вариации пульса 79, а среднее линейное отклонение 12.07. Дисперсия пульса 221.186 с несмещенной оценкой 222.297. Среднее квадратическое отклонение 14.872 с оценкой 14.91. Коэффициент вариации пульса 20.18%, линейный – 16.38%, осцилляции – 107.21%. Положительная величина степени асимметрии указывает на наличие правосторонней асимметрии выборки по пульсу. В анализируемом ряду распределения наблюдается существенная асимметрия пульса ($0.935/0.171 = 5.48 > 3$) со структурным коэффициентом 0.92, эксцессом (sEx) 0.76 при средней квадратической ошибке коэффициента 0.334 и несущественным отклонением от нормального распределения, поскольку $sEx < 3$. Значение t_{kr} по пульсу согласно таблице распределения Стьюдента 2.258. Стандартная ошибка выборки для среднего 1.0543, предельная – 2.381. Доверительный интервал пульса (71.304;76.066). С вероятностью 0.95 можно утверждать, что среднее значение пульса при выборке большего объема не выйдет за пределы найденного интервала, вероятность выхода за нижнюю границу $\chi^2(199;0.023) = 241.0579$ со случайной ошибкой дисперсии 183.51, за верхнюю – $\chi^2(199;0.977) = 156.432$ со случайной ошибкой дисперсии 282.79. Интервал (183.51;282.79) покрывает параметр S^2 по пульсу с надежностью $\alpha = 0.046$ ($\gamma=95.4\%$), интервал (14.91;14.91) покрывает параметр σ с надежностью $\gamma = 0.954$.

Для расчета сердечного индекса использовали формулу:

$$СИ = CB / \text{площадь поверхности тела},$$

где площадь поверхности тела определяли по номограмме Дюбуа в зависимости по роста и веса.

Простая средняя арифметическая веса в бимодальном ($f=14$) ряду составила 63.5 кг, медиана 60 кг, $Q1 = 54.5$, $Q3 = 71$. Размах вариации веса 55, среднее линейное отклонение 10.4, дисперсия 162.728 при несмещенной оценке 163.546, среднее квадратическое отклонение веса 12.756 кг с оценкой 12.788. Результатам можно доверять, так как вариация слабая: коэффициент = 20.07% ($v \leq 30\%$), линейный – 16.32%, осцилляции – 86.55%. Однако в анализируемом ряду распределения по параметру веса наблюдается существенная асимметрия ($0.814/0.171 = 4.77 > 3$), которая выражается структурным коэффициентом асимметрии Пирсона 0.28. В выборке

плосковершинное распределение веса (Экссесс -0.0563 , $E_x < 0$, средняя квадратическая ошибка $0,334$ – отклонение несущественно). Стандартная ошибка выборки для среднего веса 0.9043 , предельная $= 2.042$. Доверительный интервал по весу ($61.503;65.587$), с вероятностью 0.95 можно утверждать, что среднее значение при выборке большего объема не выйдет за пределы найденного интервала: за нижнюю границу $\chi^2(199;0.023)$ со случайной ошибкой дисперсии 135.01 ; за верхнюю границу $\chi^2(199;0.977) = 156.432$, случайная ошибка дисперсии 208.05 . Интервал ($135.01;208.05$) покрывает параметр S^2 с надежностью $\alpha = 0.046$ ($\gamma=95.4\%$). Доверительный интервал для среднеквадратического отклонения ($12.788;12.788$) покрывает параметр σ с надежностью $\gamma = 0.954$.

Простая средняя арифметическая роста 170.34 см. Рост 164 см встречался чаще (20 раз), медиана $= 168$ см, квартиль $Q_1= 164$ см, $Q_3 = 176$. Размах вариации роста 44 см, Среднее линейное отклонение 7.932 . Дисперсия роста 99.114 с несмещенной оценкой 99.612 . Среднее квадратическое отклонение 9.956 см с оценкой 9.981 , интервал ($9.981;9.981$) покрывает параметр σ с надежностью $\gamma = 0.954$. Коэффициент вариации роста 5.84% (слабая, линейный 4.66% , осцилляции 25.83%). $v \leq 30\%$, поэтому совокупность однородна по росту. Наблюдается существенная правосторонняя асимметрия ($0.726/0.171 = 4.25 > 3$, структурный коэффициент Пирсона 0.64). Однако, отклонение роста от нормального распределения считается не существенным (Экссесс -0.0431 с ошибкой 0.334 , $sE_x < 3$). $t_{кр}$ по Стьюденту 2.258 . Ошибки выборки для среднего: стандартная 0.7057 , предельная 1.594 . Доверительный интервал роста ($168.746;171.934$), с вероятностью 0.95 можно утверждать, что среднее значение при выборке большего объема не выйдет за пределы найденного интервала. Интервал ($82.23;126.72$) покрывает параметр S^2 с надежностью $\alpha = 0.046$ ($\gamma=95.4\%$)

Норма сердечного индекса для взрослого человека [3] составляет $3,5$ л / мин /м².

Достоверность статистической модели сердечного индекса подтверждается значимой ($T_{кр}=0.02$) ранговой корреляцией по Спирмену между объективным и расчетным сердечным индексом, которая характеризуется сильной прямой связью при $r=0.995$. Выявлена значимая ранговая корреляционная связь между оценками по двум тестам Кендалла, где $\Phi(z_{кр}) = 0.475$, а $z_{кр} = 1.96$ и $T_{кр}=0.09$. Полученные результаты выверены, когда каждое значение систолического артериального давления отличается от среднего значения 103 мм. рт. ст. в среднем на 19 мм. рт. ст. ,поскольку совокупность однородна с коэффициентом вариации меньше 30% . Диастолическое артериальное давление однородной совокупности пациентов отличается от среднего значения 53 мм.рт.ст. в среднем на 10 мм.рт.ст. при нормальном распределении выборки. Выборка пациентов по возрасту отличается от нормального распределения. Однако, в случае, когда возраст пациента отличается от среднего значения 22.44 года в среднем на 4.999 года, можно доверять результатам, полученным в результате расчета, поскольку

среднее значение возраста примерно равно моде и медиане, коэффициент вариации меньше 30%, и совокупность по параметру возраста однородна, а распределение выборки по возрасту нормально. Статистическая достоверность расчетов подтверждена в рамках нормального распределения (A_s и E_x мало отличаются от нуля) однородной совокупности (коэффициент вариации меньше 30%), где пульс не отличается от среднего значения 73.685 в среднем на 14.872. Выборка по параметру веса близка к нормальному распределению, результатам расчетов можно доверять, когда вес отличается от среднего значения 63.5 кг в среднем на 12.7 кг. Полученным результатам можно доверять, когда рост пациента отличается от среднего значения 170.34 в среднем на 9.956 в рамках нормального распределения однородной совокупности.

Таким образом, расчетный метод сердечного индекса применим для использования в рутинной практике. Критериями исключения служат больные с аритмиями и пороками сердца. Данный метод показал хорошие статистические данные, удобен в применении, имеет экономическую выгоду для отделений интенсивной терапии. Данный параметр можно рекомендовать для включения в систему поддержки принятия решений врачом.

Библиографический список

1. Пимахина Е. В. Изменения гемодинамики и проводимости в нервно-мышечных синапсах у больных во время вводного наркоза бриеталом и тиопенталом натрия : дис. – Воронеж : [Воронеж. гос. мед. акад. им. НН Бурденко], 2004.
2. Панин А. А. и др. Сравнение показателей центральной гемодинамики у больных при проведении вводного наркоза барбитуратами на этапе интубации и у больных с гипертонической болезнью //биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы-биомедсистемы-2019. – 2019. – С. 542-545.
3. Лищук В. А. Индексы сердечно-сосудистой системы //Клиническая физиология кровообращения. – 2004. – Т. 2. – С. 38.

УДК 616.832-005.7

ОБЪЕМНАЯ ОСЦИЛЛОМЕТРИЯ В АНАЛИЗЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЩЕГО ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СОСУДОВ

Е.В. Пимахина¹, И.К. Мамонтова³, А.А. Пимахин¹, Н.М. Толкач²,

Е.П. Матюхин², А.А. Пимахин⁴, Е.Н. Радченко¹, А.В. Фетисова¹

¹ФГБОУ ВО Рязанский государственный медицинский университет им. акад.

И.П. Павлова, г. Рязань

²ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им.

В.Ф. Уткина», г. Рязань

³ГБУ РО «Областной клинический перинатальный центр», г. Рязань

⁴МАОУ «Лицей №4», г. Рязань

Расчет общего периферического сопротивления сосудов с использованием математической модели позволил получить важный расчетный параметр для характеристики гемодинамического профиля. А также сравнить полученный параметр с данными объемной осциллометрии.

Ключевые слова: *сердечный выброс, ударный выброс, общее периферическое сосудистое сопротивление, объемная осциллометрия, математическая модель, гемодинамический профиль.*

VOLUME OSCILLOMETRY IN THE ANALYSIS OF THE STATISTICAL RELIABILITY OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE TOTAL PERIPHERAL VASCULAR RESISTANCE

E.V. Pimakhina¹, I.K. Mamontova³, A.A. Pimakhin¹, N.M. Tolkach², E.P. Matyukhin², A.A. Pimakhin⁴, E.N. Radchenko¹, A.V. Fetisova¹

¹Ryazan state medical university named after I.I. acad. I.P. Pavlova, Ryazan

²Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

³Regional clinical perinatal center, Ryazan

⁴Lyceum № 4, Ryazan

The calculation of the total peripheral vascular resistance using a mathematical model made it possible to obtain an important calculated parameter for characterizing the hemodynamic profile. And also compare the obtained parameter with the data of volumetric oscillometry.

Key words: *cardiac output, stroke output, total peripheral vascular resistance, volumetric oscillometry, mathematical model, hemodynamic profile.*

Определение общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС) входит в расширенный стандарт гемодинамического мониторинга. В клинической практике ОПСС надежный показатель гемодинамического профиля для больных в критическом состоянии. [1] Показаниями для определения этого параметра является изменение перфузионного давления в тканях и органах. Главная задача гемодинамики - доставка дыхательных газов к клеткам тканей. Нормальный объем сердечного выброса (СВ) на фоне сохраненного сосудистого сопротивления создает условия для нормальной перфузии тканей и органов. При снижении перфузионного давления доставка газов к тканям с высоким сопротивлением резко снижается. [2] Значения артериального давления систолического (АДс), артериального давления диастолического (АДд), артериального давления среднего (АД ср), артериального давления пульсового (АДп) находятся в прямой зависимости от значений ОПСС. Если ОПСС увеличено, то системные давления тоже повышены. Сердечный выброс, значение ОПСС, уровень АДср на фоне изменений лактата являются достаточными критериями гемодинамической адекватности. Уровень лактата повышется из –за перехода клеток на анаэробный тип дыхания, что является признаком недостаточности кислорода и отражает степень нарастания гипоксии. В данной ситуации кроме

измерения АДс, АДд, АДср, АДп необходимо определение СВ, ОПСС и давления заклинивания в легочной артерии (ДЗЛА). Это возможно с использованием сложной методики транспульмональной термодиллюции. Данная методика инвазивна, требует постановки зонда в легочную артерию. Параметры, полученные методом транспульмональной гемодиллюции, отражают надежный профиль гемодинамики. Чаще всего данная методика применима в кардиохирургии.

Для рутинного измерения ОПСС предложены неинвазивные методики, к которым относят объемную осциллометрию.

Известно, что любой метод мониторинга показывает достоверные результаты у здоровых людей. В работе был определен ОПСС у 200 студентов методом объемной осциллометрии с использованием прибора Гемодин. Параметр ОПСС у этих же студентов определяли по математическим формулам. Для расчета использовали данные АДс, АДд, АДср, АДп. Эти показатели получали при измерении давления аппаратом Рива-Роччи. Измерения проводили при комнатной температуре. В спокойном состоянии. У всех испытуемых фиксировали нормальный ритм и темп сердечных сокращений.

Под сердечным выбросом понимают количество крови, которое проходит через камеры сердца за минуту. Для определения параметра был рассчитан ударный объем сердца. Под ударным объемом сердца понимают количество крови, которое поступает в аорту из левого желудочка за одну систолу. Зная ударный объем за систолу и количество систол в минуту определяют сердечный выброс сердца. Количество систол в минуту соответствует пульсу.

Для расчета ударного объема сердца использовали формулу [3]:

$$УОС=90.97+(0,54*(АДс-АДд))-(0.57*АДд)-(0,61*возраст) \quad (1)$$

Для расчета сердечного выброса сердца использовали формулу:

$$СВ= УОС*пульс \quad (2)$$

Простое среднее арифметическое значение пульса составляет 73.685 уд/мин, 60 уд/мин встречалось чаще всего (у 37 пациентов), медиана = 71, квартиль Q1 = 60, Q3 =83. Размах вариации пульса 79, а среднее линейное отклонение 12.07. Дисперсия пульса 221.186 с несмещенной оценкой 222.297. Среднее квадратическое отклонение 14.872 с оценкой 14.91. Коэффициент вариации пульса 20.18%, линейный – 16.38%, осцилляции – 107.21%. Положительная величина степени асимметрии указывает на наличие правосторонней асимметрии выборки по пульсу. В анализируемом ряду распределения наблюдается существенная асимметрия пульса (0.935/0.171 = 5.48>3) со структурным коэффициентом 0.92, эксцессом (sEx) 0.76 при средней квадратической ошибке коэффициента 0.334 и несущественным отклонением от нормального распределения, поскольку sEx < 3. Значение tкр по пульсу согласно таблице распределения Стьюдента 2.258. Стандартная ошибка выборки для среднего 1.0543, предельная – 2.381. Доверительный

интервал пульса (71.304;76.066). С вероятностью 0.95 можно утверждать, что среднее значение пульса при выборке большего объема не выйдет за пределы найденного интервала, вероятность выхода за нижнюю границу $\chi^2(199;0.023) = 241.0579$ со случайной ошибкой дисперсии 183.51, за верхнюю – $\chi^2(199;0.977) = 156.432$ со случайной ошибкой дисперсии 282.79. Интервал (183.51;282.79) покрывает параметр S2 по пульсу с надежностью $\alpha = 0.046$ ($\gamma=95.4\%$), интервал (14.91;14.91) покрывает параметр σ с надежностью $\gamma = 0.954$.

Для расчета общего периферического сопротивления сосудов использовали формулу:

$$\text{ОПСС} = 79.9 \cdot \text{АДср} / \text{СВ} \quad (3)$$

Коэффициент 79.9 представляет собой константу для расчета ОПСС, взвешивающую статистическую значимость факторов.

Норма общего периферического сопротивления сосудов для взрослого человека составляет 900—1500 дин·с·см⁻⁵.

Достоверность статистической модели ОПСС подтверждается значимой ($T_{кр}=0.01$) ранговой корреляцией по Спирмену между объективным и расчетным сердечным индексом, которая характеризуется сильной прямой связью при $r=0.999$. Выявлена значимая ранговая корреляционная связь между оценками по двум тестам Кендалла, где $\Phi(z_{кр}) = 0.475$, а $z_{кр} = 1.96$ и $T_{кр}=0.09$. Статистическая достоверность расчетов подтверждена в рамках нормального распределения (A_s и E_x мало отличаются от нуля) однородной совокупности (коэффициент вариации меньше 30%), где пульс не отличается от среднего значения 73.685 в среднем на 14.872.

Расчетный метод общего периферического сопротивления сосудов возможен для использования в рутинной практике. Критериями исключения служат больные с аритмиями и пороками сердца. Данный метод показал хорошие статистические данные, удобен в применении, имеет экономическую выгоду для отделений интенсивной терапии.

Библиографический список

1. Пимахина Е. В. Изменения гемодинамики и проводимости в нервно-мышечных синапсах у больных во время вводного наркоза бриеталом и тиопенталом натрия : дис. – Воронеж : [Воронеж. гос. мед. акад. им. НН Бурденко], 2004.
2. Панин А. А. и др. Сравнение показателей центральной гемодинамики у больных при проведении вводного наркоза барбитуратами на этапе интубации и у больных с гипертонической болезнью // биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы-биомедсистемы-2019. – 2019. – С. 542-545.
3. Заболотских И. Б. и др. Способ определения ударного объема сердца у больных без пороков сердца. – 2010.

УДК 616.832-005.7

ОБЪЕМНАЯ ОСЦИЛЛОМЕТРИЯ В АНАЛИЗЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕРДЕЧНОГО ВЫБРОСА

Е.В. Пимахина¹, О.В. Окрут³, А.А. Пимахин¹, Н.М. Толкач², Е.П. Матюхин²,
А.А. Пимахин⁴, А.А. Супряга¹

¹ФГБОУ ВО Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, г. Рязань

²ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

³ГБУ РО «Областной клинический перинатальный центр», г. Рязань

⁴МАОУ «Лицей №4», г. Рязань

Расчет сердечного выброса с использованием математической модели позволил получить важный расчетный параметр для характеристики гемодинамического профиля. А также сравнить полученный параметр с данными объемной осциллометрии.

Ключевые слова: *сердечный выброс, ударный выброс, объемная осциллометрия, математическая модель, гемодинамический профиль.*

VOLUME OSCILLOMETRY IN THE ANALYSIS OF THE STATISTICAL RELIABILITY OF A MATHEMATICAL MODEL OF CARDIAC OUTPUT

E.V. Pimakhina¹, O.V. Okrut³, A.A. Pimakhin¹, N.M. Tolkach², E.P. Matyukhin²,
A.A. Pimakhin⁴, A.A. Supryaga¹

¹Ryazan state medical university named after I.I. acad. I.P. Pavlova, Ryazan

²Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

³Regional clinical perinatal center, Ryazan

⁴Lyceum № 4, Ryazan

The calculation of cardiac output using a mathematical model made it possible to obtain an important calculated parameter for characterizing the hemodynamic profile. And also compare the obtained parameter with the data of volumetric oscillometry.

Key words: *cardiac output, stroke output, volumetric oscillometry, mathematical model, hemodynamic profile.*

Определение сердечного выброса входит в расширенный стандарт гемодинамического мониторинга. В клинической практике сердечный выброс надежный показатель гемодинамического профиля для больных в критическом состоянии. [1] Показаниями для определения этого параметра являются шоки различного генеза. Так травматический, аллергический, кардиогенный, вазопериферический шоки имеют характерную этиологию, что учитывают при коррекции функций. Но бывают ситуации, когда резкое снижение давления не является признаком шока. Например, острое

нарушение кровообращения при отсутствии конкретных этиологических факторов. В данной ситуации кроме измерения артериального давления систолического, диастолического, среднего, пульсового необходимо определение давления заклинивания в легочной артерии и определение сердечного выброса. [2] Это возможно с использованием сложной методики транспульмональной термодиллюции. Данная методика инвазивна, требует постановки зонда в легочную артерию. Параметры, полученные методом транспульмональной гемодиллюции, отражают надежный профиль гемодинамики. Чаще всего данная методика применима в кардиохирургии.

Для рутинного измерения параметров работы сердца предложены неинвазивные методики, к которым относят объемную осциллометрию.

Известно, что любой метод мониторинга показывает достоверные результаты у здоровых людей. В работе был определен сердечный выброс у 200 студентов методом объемной осциллометрии с использованием прибора Гемодин. Параметр сердечного выброса у этих же студентов был рассчитан по математическим формулам. Для расчета использовали данные артериального давления систолического, артериального давления диастолического, артериального давления среднего, артериального давления пульсового. Эти показатели получали при измерении давления аппаратом Рива-Роччи. Измерения проводили при комнатной температуре. В спокойном состоянии. У всех испытуемых фиксировали нормальный ритм и темп сердечных сокращений.

Под сердечным выбросом понимают количество крови, которое проходит через камеры сердца за минуту. Для определения параметра был рассчитан ударный объем сердца. Под ударным объемом понимают количество крови, которое поступает в аорту из левого желудочка за одну систолу. Зная ударный объем за систолу и количество систол в минуту определяют сердечный выброс сердца. Количество систол в минуту соответствует пульсу.

Для расчета ударного выброса сердца использовали формулу:

$$\text{УОС} = 90.97 + (0.54 * (\text{Адс} - \text{Адд})) - (0.57 * \text{Адд}) - (0.61 * \text{возраст}) \quad (1)$$

Для расчета сердечного выброса сердца использовали формулу [3]:

$$\text{СВ} = \text{УОС} * \text{пульс} \quad (2)$$

Простое среднее арифметическое значение пульса составляет 73.685 уд/мин, 60 уд/мин встречалось чаще всего (у 37 пациентов), медиана = 71, квартиль Q1 = 60, Q3 = 83. Размах вариации пульса 79, а среднее линейное отклонение 12.07. Дисперсия пульса 221.186 с несмещенной оценкой 222.297. Среднее квадратическое отклонение 14.872 с оценкой 14.91. Коэффициент вариации пульса 20.18%, линейный – 16.38%, осцилляции – 107.21%. Положительная величина степени ассиметрии указывает на наличие правосторонней ассиметрии выборки по пульсу. В анализируемом ряду распределения наблюдается существенная ассиметрия пульса (0.935/0.171 = 5.48 > 3) со структурным коэффициентом 0.92, эксцессом (sEx) 0.76 при

средней квадратической ошибке коэффициента 0.334 и несущественным отклонением от нормального распределения, поскольку $s_{Ex} < 3$. Значение $t_{кр}$ по пульсу согласно таблице распределения Стьюдента 2.258. Стандартная ошибка выборки для среднего 1.0543, предельная – 2.381. Доверительный интервал пульса (71.304;76.066). С вероятностью 0.95 можно утверждать, что среднее значение пульса при выборке большего объема не выйдет за пределы найденного интервала, вероятность выхода за нижнюю границу $\chi^2(199;0.023) = 241.0579$ со случайной ошибкой дисперсии 183.51, за верхнюю – $\chi^2(199;0.977) = 156.432$ со случайной ошибкой дисперсии 282.79. Интервал (183.51;282.79) покрывает параметр S^2 по пульсу с надежностью $\alpha = 0.046$ ($\gamma=95.4\%$), интервал (14.91;14.91) покрывает параметр σ с надежностью $\gamma = 0.954$.

Достоверность статистической модели сердечного индекса подтверждается значимой ($T_{кр}=0.01$) ранговой корреляцией по Спирмену между объективным и расчетным сердечным индексом, которая характеризуется сильной прямой связью при $r=0.999$. Выявлена значимая ранговая корреляционная связь между оценками по двум тестам Кендалла, где $\Phi(z_{кр}) = 0.475$, а $z_{кр} = 1.96$ и $T_{кр}=0.09$. Статистическая достоверность расчетов подтверждена в рамках нормального распределения (A_s и E_x мало отличаются от нуля) однородной совокупности (коэффициент вариации меньше 30%), где пульс не отличается от среднего значения 73.685 в среднем на 14.872.

Расчетный метод сердечного выброса возможен для использования в рутинной практике. Критериями исключения служат больные с аритмиями и пороками сердца. Данный метод показал хорошие статистические данные, прост в применении, имеет экономическую выгоду для отделений интенсивной терапии.

Библиографический список

1. Пимахина Е. В. Изменения гемодинамики и проводимости в нервно-мышечных синапсах у больных во время вводного наркоза бриеталом и тиопенталом натрия : дис. – Воронеж : [Воронеж. гос. мед. акад. им. НН Бурденко], 2004.
2. Панин А. А. и др. Сравнение показателей центральной гемодинамики у больных при проведении вводного наркоза барбитуратами на этапе интубации и у больных с гипертонической болезнью //биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы-биомедсистемы-2019. – 2019. – С. 542-545.
3. Киселев И. Н. и др. Персонализация параметров и валидация модели сердечно-сосудистой системы человека //Математическая биология и биоинформатика. – 2015. – Т. 10. – №. 2. – С. 526-547.

**МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

А.В. Николаев, О.В. Мельник, М.С. Ашапкина

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрены принципы построения информационных систем для диагностики и прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний. Проведен сравнительный анализ методов поддержки принятия решений в кардиологии. Обосновано использование аппарата искусственных нейронных сетей для решения задачи прогнозирования заболеваний сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова: *информационная система, методы поддержки принятия решений, сердечно-сосудистые заболевания, искусственные нейронные сети.*

**DECISION SUPPORT TECHNIQUES
IN INFORMATION SYSTEMS FOR PREDICTION OF
CARDIOVASCULAR DISEASES**

A.V. Nikolaev, O.V. Melnik, M.S. Ashapkina

Ryazan State Radioengineering University named after V.F. Utkin, Ryazan

The principles of building information systems for diagnosing and predicting cardiovascular diseases are considered. A comparative analysis of decision support methods in cardiology has been carried out. The use of the apparatus of artificial neural networks for solving the problem of predicting diseases of the cardiovascular system is substantiated.

Key words: *information system, decision support methods, cardiovascular diseases, artificial neural networks.*

Современный уровень развития информационных технологий позволяет на базе персональной ЭВМ осуществлять быструю обработку множества разнородных данных и производить комплексную интерпретацию диагностических признаков. Это может обеспечить не только качественную поддержку принятия диагностических решений, но и решить задачу формирования прогноза течения заболевания.

Входными данными для информационных систем для прогнозирования нарушений в деятельности сердечно-сосудистой системы могут являться:

- информативные признаки заболеваний, сформированные на основе информативных параметров электрокардиосигнала;
- данные анамнеза;
- результаты биохимических тестов;
- параметры артериального давления;

- данные специализированных инструментальных методов;
- результаты нагрузочных тестов.

Выбор и обоснование конкретного перечня входных данных зависит как от конкретной медицинской, так и конкретной технической задачи, которую должна решать система для прогнозирования миокардиальных нарушений.

Существующие системы поддержки принятия диагностических и прогностических решений (СППР) в кардиологии зависимости от назначения базируются на следующих классах методов:

1. балльные оценки, основные шкалы которых, предназначенные для оценки риска в задачах ранней диагностики и прогнозирования миокардиальных заболеваний, систематизированы в [1];
2. статистические методы обработки данных [2, 3];
3. нелинейные регрессионные методы [4, 5];
4. искусственные нейронные сети [6, 7, 8];
5. методы на основе нечеткой логики [9].

Проведенный анализ литературных источников позволил сформулировать достоинства и недостатки каждого из классов, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Методы поддержки принятия решения

Метод анализа многомерных данных	Достоинства	Недостатки
Балльные оценки	<ul style="list-style-type: none"> - возможность свернуть задачу к единому показателю – баллу; - легкость интерпретации результатов; - устойчивость системы к изменению ее параметров; - возможность создавать модели оптимизации управления биосистемами 	<ul style="list-style-type: none"> - перераспределение баллов; - демаркация классов; - гиперпрогнозирование
Статистический анализ	<ul style="list-style-type: none"> - визуализация результатов анализа; - использование математических формул; 	<ul style="list-style-type: none"> - громоздкость вычислений; - работа с большим количеством исходных данных; - жесткие требования к исходным данным; - гиперпрогнозирование; - невозможность дообучения

<p>Нелинейные регрессионные методы</p>	<ul style="list-style-type: none"> - визуализация полученных результатов; - высокая точность прогнозирования 	<ul style="list-style-type: none"> - сложные громоздкие вычисления; - необходима помощь математиков и программистов; - требуются высокомоощные компьютеры
<p>Искусственные нейронные сети</p>	<ul style="list-style-type: none"> - отсутствуют громоздкие вычисления; - небольшая выборка данных; - обработка данных в реальном масштабе времени; - возможность дообучения; - низкий процент гиперпрогнозирования; - высокая скорость работы; - высокая точность прогнозирования; - возможность работы со слабоструктурированными и неполными данными; - способны одновременно решать несколько задач 	<ul style="list-style-type: none"> - многие прогностические правила весьма сложны, требуют учета большого количества факторов; - требуется формализация входных данных
<p>Нечеткая логика</p>	<ul style="list-style-type: none"> - простая и удобная схема вычислений; - возможность работы со слабоструктурированными и неполными данными 	<ul style="list-style-type: none"> - работа с большим количеством входных переменных затруднительна; - не всегда удается построить эффективные вычислительные процедуры; - зависимость набора правил НЛ от вида входных переменных; - результатом анализа является область подходящих значений, а не конкретное число

Аппарат искусственных нейронных сетей является одним из наиболее перспективных при разработке систем поддержки принятия решений.

Нейронные сети можно применять для решения любых задач кардиологии, кроме того они обладают рядом преимуществ по сравнению с другими методами обработки многомерных данных:

1. нейронные сети можно дообучать при появлении новых диагностических данных;

2. на порядок ниже гиперпрогнозирование неблагоприятного развития заболевания;

3. многие прогностические правила весьма сложны, требуют учета большого количества факторов, но при этом отсутствует громоздкость вычислений;

4. нейронные сети способны одновременно решать несколько задач кардиологии: например, классификация болезней и прогнозирование их течения в дальнейшем;

5. точность диагностики сердечно-сосудистых заболеваний также на порядок выше;

6. нейронные сети способны обрабатывать данные в реальном масштабе времени; СППР на основе нейронных сетей работают быстро, что существенно уменьшает время, затрачиваемое на постановку диагноза.

Таким образом, интерпретацию совокупности клинико-инструментальных факторов риска предлагается реализовать в виде модуля поддержки принятия решений на основе искусственных нейронных сетей. Такой модуль поддержки принятия решений может быть обучен на распознавание, в том числе, признаков конкретных сердечно-сосудистых заболеваний и использован в системах с различной аппаратной и программной конфигурацией.

Библиографический список

1. Berger J.S., Jordan C.O., Lloyd-Jones D., Blumenthal R.S. Скрининг сердечно-сосудистого риска у бессимптомных пациентов // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2010. №3. С. 381-390.
2. Халафян А.А. Анализ и синтез медицинских систем поддержки принятия решений на основе технологий статистического моделирования. Автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора техн. наук. Краснодар, 2010.
3. Патент РФ №2391044. Способ прогнозирования течения ишемической болезни сердца.
4. Гуцин А.В. Идентификация параметров многомерных линейных разностных уравнений нелинейным методом наименьших квадратов. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Самара, 2006.
5. Пензякова М.В. Оптимизация тактики ведения больных, перенесших острый коронарный синдром с низким риском неблагоприятных исходов. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. мед. наук. Самара, 2010.
6. Изель В.П., Мутанов Г.М. Комбинированная нейросетевая система кардиодиагностики // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2002. №

5-6. С.18-21.

7. Гарколь Н.С. Применение искусственных нейронных сетей для диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Барнаул, 2002.

8. Бодин О.Н. Многомерный нейросетевой анализ ЭКГ-признаков инфаркта миокарда // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2005. № 7. С.36-41.

9. Грахов А.А. Автоматизированная система прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики ишемической болезни сердца на основе нечетких сетевых моделей. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Курск, 2008.

СЕКЦИЯ 3. ТЕЛЕМЕДИЦИНА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

УДК 614.2:004.418

ВЕБ-СЕРВИС КАК ИНСТРУМЕНТ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ С ИЗБЫТОЧНЫМ ВЕСОМ

И.С. Каверина, Ю.Г. Самойлова, И.В. Толмачев
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет»
Минздрава России, г. Томск

Актуальность работы обусловлена ростом распространенности детского ожирения в России и во всем мире и одновременным снижением интереса у детей и подростков к ведению здорового и активного образа жизни. Целью работы является создание веб-сервиса, пропагандирующего здоровое питание и привлекающего детей к ведению здорового образа жизни.

Ключевые слова: *детское ожирение, веб-сервис, здоровый образ жизни*

WEB SERVICE AS A TOOL TO PROMOTE A HEALTHY LIFESTYLE AMONG OVERWEIGHT CHILDREN AND ADOLESCENTS

I.S. Kaverina, Yu.G. Samoylova, I.V. Tolmachev
Siberian State Medical University, Tomsk

The relevance of the work is due to the increasing prevalence of childhood obesity in Russia and around the world and the simultaneous decrease in interest among children and adolescents in leading a healthy and active lifestyle. The aim of the work is to create a web service that promotes healthy eating and attracts children to a healthy lifestyle.

Keywords: *childhood obesity, web service, healthy lifestyle.*

В последние годы происходит увеличение количества детей и подростков, обладающих избыточным весом, и одновременно наблюдается тенденция к снижению ведения активного образа жизни детьми [1, 2]. К одной из косвенных причин сложившейся ситуации можно отнести информационно-технологические изменения, которые влияют как на питание, так и на физическую активность детей и подростков [3]. Многие современные дети, у кого есть собственные гаджеты, предпочитают провести свое время играя в компьютерные игры или просматривая различные ролики в соцсетях, чем выйти на прогулку. Поскольку современные дети ориентированы на использование информационных технологий, то разработка специализированных веб-сервисов может являться эффективной стратегией, знакомящих и ориентирующих детей и подростков на ведение здорового и активного образа жизни.

Идея разработки веб-сервиса возникла в ходе реализации проекта ученых и врачей Сибирского государственного медицинского университета (проводится при поддержке администрации Томской области), направленного на повышение информированности и грамотности томичей по вопросам сохранения и укрепления своего здоровья, профилактики заболеваний, применению здоровьесберегающих технологий с формированием мотивации по использованию полученных знаний.

Разрабатываемый веб-сервис строится по принципу социальной сети, где каждому участнику доступна лента новостей, есть личный кабинет и возможность общаться короткими сообщениями. В ходе данного проекта каждый ребенок-участник на основе заполняемых анкетных данных и данных о составе тела с качественной и количественной оценкой показателей жировой и мышечной ткани, полученных с помощью аппарата Inbody770 (производство компании InBody, Южная Корея), относится к одной из групп: ниже нормы, норма, выше нормы, критический уровень риска. Мониторинг изменения показателей состава тела происходит с периодичностью один раз в год.

Особенностью разрабатываемого веб-сервиса является наличие игрового контента для детей-участников проекта. Ежедневно ребенку доступно новое задание, которое состоит из трех частей: 1) рассказ об интересных фактах о спорте или продуктах питания; 2) викторина с вопросами о правильном питании и здоровом образе жизни; 3) игра, где повторяя простые действия за персонажем ребенок вовлекается в физическую активность. Уровень сложности игрового контента зависит от группы, к которой был отнесен ребенок по результатам анкетирования и биоимпедансометрии. Физические упражнения, которые необходимо повторять за персонажем, были составлены врачами – специалистами по ведению здорового образа жизни СибГМУ ФГБОУ ВО (г. Томск).

Таким образом, разрабатываемый веб-сервис сочетает в себе предиктивную аналитику для формирования персонализированных рекомендаций, мониторинг изменения показателей состава тела специалистом, игровой контент и может выступать как инструмент популяризации здорового образа жизни у детей и подростков с избыточным весом.

Библиографический список

1. World Health Statistics 2022 // World Health Organization, 2022. – P.131.
2. Ziser, K., Junne, F., Herschbach, A. et al. Supporting families to achieve a healthy weight development for their child with overweight/obesity using the STARKIDS intervention: study protocol for a cluster-randomized controlled trial // *Trials*. 2022. Т. 23, Article number 590. URL: <https://doi.org/10.1186/s13063-022-06525-0> (дата обращения 05.08.2022).
3. Zozaya, N., Oliva-Moreno, J. & Vallejo-Torres, L. Association between maternal and paternal employment and their children's weight status and unhealthy

behaviours: does it matter who the working parent is? // BMC Public Health. 2022. T. 22, Article number 1331. URL: <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13735-3> (дата обращения 05.08.2022).

УДК 339.5

ТЕНДЕНЦИИ, КОТОРЫЕ ИЗМЕНЯЮТ ПЕРСПЕКТИВЫ ОТРАСЛИ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

С.В. Фролов, Т.А. Фролова

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Проведенный анализ позволил выявить тенденции, которые изменяют перспективы отрасли медицинского оборудования в 2023 году.

Ключевые слова: медицинское оборудование, медицинские услуги, тенденции, здравоохранение.

TRENDS THAT WILL CHANGE THE PERSPECTIVE FOR THE MEDICAL DEVICE INDUSTRY

S.V. Frolov, T.A. Frolova

Tambov State Technical University, Tambov

The analysis made it possible to identify trends that will change the outlook for the medical device industry in 2023.

Key words: medical equipment, medical services, trends, healthcare.

Медицинские изделия используются для оказания медицинских услуг. Они используются для широкого спектра услуг во многих областях здравоохранения, помогая решать многие проблемы, с которыми сталкивается отрасль здравоохранения. Некоторые из наиболее распространенных медицинских устройств включают аппараты МРТ, компьютерные томографы, рентгеновские аппараты, хирургические аппараты LASIK, инфузионные насосы и ПЭТ-сканеры. Медицинские устройства в больницах, клиниках и других медицинских учреждениях постоянно совершенствуются. Цель часто состоит в том, чтобы найти лучшие способы выявления, диагностики и лечения заболеваний более эффективно и результативно.

Проведенный анализ позволил выявить тенденции, которые изменяют перспективы отрасли медицинского оборудования в 2023 году.

1. Повышенная кибербезопасность

По мере развития технологий менялась и тактика хакеров. Существует новая порода кибертерроризма, которая устрашает. Вот почему повышенная кибербезопасность должна быть приоритетом во всех областях здравоохранения, включая медицинские устройства. Обмен медицинской информацией осуществляется между несколькими заинтересованными

сторонами, такими как производители, поставщики медицинских услуг и поставщики. При обмене данными через медицинские устройства требуются надежные меры безопасности для предотвращения нарушений безопасности. Фактически, FDA активно привлекает производителей медицинского оборудования к ответственности за проблемы, связанные с безопасностью, поэтому управление рисками должно оставаться приоритетом.

2. Носимые фитнес-технологии

Носимые технологии, часто называемые «носимыми», начинались просто с отслеживания количества шагов, которые человек делал каждый день. Теперь эта технология предлагает гораздо более продвинутые данные. Многие люди носят фитнес-технологии, и еще большее количество людей хотят их носить. Технология используется, чтобы помочь медицинским работникам оптимизировать качество обслуживания пациентов, и эта тенденция сохранится в 2023 году. Например, врачи могут контролировать артериальное давление и частоту сердечных сокращений пациента. Носимые устройства могут способствовать общему здоровью и хорошему самочувствию, даже если у человека нет заболеваний.

3. Интернет медицинских вещей

Интернет медицинских вещей (IoMT) — это множество приложений и медицинских устройств, используемых для подключения ИТ-систем в здравоохранении. Это необходимо для связи между компьютерами и часто использует Wi-Fi. IoT также анализирует общие данные, позволяя поставщикам медицинских услуг принимать обоснованные решения. Приложения и устройства IoT помогают снизить затраты на медицинские услуги, оптимизировать результаты лечения пациентов и повысить эффективность работы. Это одни из самых серьезных проблем в отрасли здравоохранения. Вот почему компании, производящие медицинские устройства, постоянно ищут способы расширить возможности технологий IoT. Многие установили прочные партнерские отношения с организациями здравоохранения, которые выходят за рамки отношений поставщика или производителя.

4. Медицинские роботы

Текущая тенденция, которая набирает обороты, — использование роботов в медицине. Например, хирургический робот под названием «Хирургическая система Да Винчи» в настоящее время используется для оказания помощи в операционной. Имеет смысл, что этот тип технологии выполняет роль совместной поддержки, учитывая ситуацию жизни или смерти пациентов. Благодаря достижениям в этой области медицинские роботы становятся все более способными и способными выполнять процедуры, выходящие за рамки стандартного программирования. Ожидается увеличение типов и уровней выполняемых задач. Ожидается, что медицинские роботы помогут в будущем проводить осмотры в сельских городах с помощью телеприсутствия. Будущие медицинские роботы смогут проводить целенаправленную лучевую терапию.

5. 3D-печатные объекты

Использование технологии 3D-печати расширяется. При использовании в медицинской промышленности существуют замечательные возможности, которые могут продлить и спасти жизнь. Например, можно воспроизвести индивидуальные органы, некоторые инструменты, используемые для хирургических процедур, и протезы, адаптированные для пациентов. Эти печатные объекты можно использовать для исследований и разработки прототипов. Есть также возможности 3D-принтера в ортодонтии и стоматологии. Ожидается, что все эти тенденции будут расти в 2023 году и далее.

6. Геномная медицина

Геномная медицина — это когда геномные данные используются для принятия решений о медицинском обслуживании пациента. Включает в себя использование машинного обучения и искусственного интеллекта для разработки плана лечения, адаптированного к конкретным потребностям пациента. Геномная медицина использовалась и будет использоваться в инфекционных болезнях, онкологии и фармакологии. Устройства, используемые в геномике, позволяют медицинским работникам лучше понимать различные заболевания, что может привести к более быстрым и эффективным вариантам лечения. Это персонализированное лекарство использовалось, среди прочего, для лечения рака и муковисцидоза.

7. Компьютерное зрение

Возможности машин будут продолжать расширяться, включая их способность видеть и интерпретировать изображения для предоставления важной информации. Это включает в себя возможность оценивать медицинские изображения и различные типы сканирования. Хотя эта технология существует в течение длительного времени, в последние годы были достигнуты успехи, которые, как ожидается, продолжатся в 2023 году. Компьютерное зрение в основном используется для предоставления интеллектуальных данных в здравоохранении, которые могут улучшить результаты. Например, они могут определить, есть ли у пациента кровотечение или есть ли опухоль при сканировании. Это способ помочь обеспечить точность диагнозов.

8. Подключение устройств

Программное обеспечение как медицинское устройство (SaMD) — это программное обеспечение, используемое для улучшения подключения медицинских устройств. Например, это может помочь пациентам чувствовать себя более уверенными, предоставляя им информацию об их истории болезни, которую можно использовать для лучшего управления своим здоровьем. Предположим, у пациента есть хроническое заболевание. В этом случае они могут использовать данные с медицинских устройств для обмена информацией с медицинскими работниками или принятия более эффективных решений в отношении здоровья. Речь идет о предоставлении информации, необходимой для принятия более обоснованных решений для

улучшения здоровья и благополучия. Одна из тенденций, которая, как ожидается, будет развиваться в 2023 году, — это ужесточение государственного регулирования, направленного на защиту конфиденциальности пациентов, когда на рынке появятся новые устройства.

9. Технология 5G

Как и в других отраслях, медицинские устройства в здравоохранении часто требуют высокоскоростных сетей для обеспечения оптимальной скорости. Следовательно, технология 5G (беспроводная связь пятого поколения) выгодна, поскольку может обеспечить необходимую скорость. С практической точки зрения 5G позволяет поставщикам медицинских услуг использовать различные устройства для отправки больших файлов во время совместной работы с другими медицинскими работниками. Чаще всего это требуется при отправке сканированных и рентгеновских снимков специалистам для диагностики. Это также выгодно, потому что географически рассредоточенные и удаленные медицинские учреждения сегодня более распространены, чем когда-либо.

10. Виртуальная реальность

Виртуальная реальность в здравоохранении часто включает в себя программное обеспечение, полезное во многих отношениях, например, для обучения хирургов и студентов-медиков. Медицинские устройства, используемые в виртуальной реальности, также помогают пациентам с депрессией, аутизмом, проблемами со зрением и многими другими состояниями. Виртуальная реальность может решить проблемы диссонанса мозга и предотвратить ощущение боли во время процедуры. Эта технология произвела революцию в здравоохранении, и эта тенденция будет продолжать набирать обороты.

Что на горизонте в области медицинских устройств на 2023 год, так это развитие технологий, которые уже начали трансформировать здравоохранение. Компании, производящие медицинские устройства, продолжают инвестировать в передовые технологии для удовлетворения потребностей организаций здравоохранения по всему миру. В приведенной ниже информации представлены статистические данные, связанные с этими тенденциями.

Библиографический список

1. Top 10 exciting health technology start-ups in Silicon Valley: <https://www.proclinical.com/blogs/2018-10/top-10-exciting-health-technology-start-ups-silicon-valley> (дата обращения: 15.11.2022).
2. Top 10 new medical technologies 2022: <https://www.proclinical.com/blogs/2022-4/top-10-new-medical-technologies-2022> (дата обращения: 15.11.2022).
3. Top 10 medical advancements in cancer research history: <https://www.proclinical.com/blogs/2021-2/top-10-medical-advancements-in-cancer-research-history> (дата обращения: 15.11.2022).

УДК 339.5

КТО ВХОДИТ В ТОП-10 КОМПАНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В МИРЕ В 2022 ГОДУ?

С.В. Фролов, Т.А. Фролова

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Был проведен анализ деятельности ведущих компаний по производству медицинского оборудования по их выручке в 2021 году, рассматривая только результаты их сегмента медицинских устройств.

***Ключевые слова:** медицинское оборудование, медицинские услуги, тенденции, здравоохранение.*

TRENDS THAT WILL CHANGE THE PERSPECTIVE FOR THE MEDICAL DEVICE INDUSTRY

S.V. Frolov, T.A. Frolova

Tambov State Technical University, Tambov

An analysis was made of the performance of leading medical device companies by their revenue in 2021, considering only the results of their medical devices segment.

***Key words:** medical equipment, medical services, trends, healthcare.*

В 2021 году мировой рынок медицинских устройств продолжал стремительно расти, поскольку сложные потребности пациентов в сочетании с пандемией Covid-19 побуждали компании разрабатывать и создавать новые инновационные решения. Рост обусловлен сочетанием факторов, включая увеличение числа медицинских учреждений, увеличение расходы на здравоохранение, технологические достижения и старение населения.

Был проведен анализ деятельности ведущих компаний по производству медицинского оборудования по их выручке в 2021 году, рассматривая только результаты их сегмента медицинских устройств. Мы ранжировали ведущие компании по производству медицинского оборудования. В этом списке представлены 10 крупнейших компаний по производству медицинского оборудования в мире в 2022 году.

10. Компания Cardinal Health.

Имея более чем 100-летний опыт и 44000 сотрудников в 30 странах, Cardinal Health широко признана поставщиком фармацевтических препаратов, изделий медицинского назначения и услуг, которые помогают поставщикам медицинских услуг. В 2022 финансовом году продажи компании в медицинском сегменте упали на 5%, что значительно повлияло на инфляцию и ограничения в цепочке поставок [1]. Продажи были дополнительно компенсированы более низким спросом на средства индивидуальной защиты по сравнению с предыдущим годом и продажей бизнеса Cordis.

9. Компания Stryker.

Американский многонациональный специалист в области медицинских технологий Stryker занимает девятое место в списке этого года. Stryker, в котором работает 46000 сотрудников по всему миру, занимается созданием инновационных решений в области ортопедии, медицинских и хирургических решений, нейротехнологий и ухода за позвоночником, которые помогают улучшить состояние пациентов и результаты лечения в больнице. Вплоть до 2020 года компания Stryker росла 40 лет подряд, но с сокращением объема медицинских процедур из-за пандемии Covid-19 продажи компании упали на 3,6% в 2020 году. Однако в 2021 году Stryker вернулась к росту с ростом продаж на впечатляющие 19%, благодаря выдающимся результатам для MedSurg и Neurotechnology, а также для Orthopedics and Spine [2]. В конце 2020 года Stryker завершила сделку по приобретению Wright Medical, которая теперь полностью интегрирована в Stryker и обеспечила компании хорошие позиции для будущего роста.

8. Компания GE Healthcare.

Основой топ-10 является ведущая мировая компания в области медицинских технологий и медико-биологических наук GE Healthcare. Обладая широким ассортиментом продуктов, компания GE Healthcare получила широкое признание благодаря своим решениям для визуализации, ультразвука, программного обеспечения и жизнеобеспечения. В 2021 году продажи GE Healthcare упали на 2% из-за негативных последствий сбоев в цепочке поставок. В 2021 году они приобрели две компании; BK Medical и Zionexa, которые обладают большим потенциалом в области прецизионной медицины и медицины, что является основным направлением деятельности GE Healthcare.

7. Компания Philips.

Philips — диверсифицированная технологическая компания с более чем столетним опытом работы. Подразделение здравоохранения Philips составляет 42% их глобального дохода и состоит из трех ключевых областей: диагностика и лечение, сетевое лечение и личное здоровье.

В 2021 году продажи продуктов и решений Philips для здоровья составили 15 % меньше, чем в предыдущем году [3] . На продажи повлияло несколько встречных ветров, в том числе проблемы с цепочкой поставок, отсрочка установки оборудования в больницах из-за Covid-19. Тем не менее, сопоставимый объем заказов увеличился на 4% благодаря устойчивому росту бизнеса в области диагностики и лечения.

Объявляя результаты за весь год, генеральный директор Франс ван Хаутен прокомментировал: «В течение 2021 года мы подписали 80 долгосрочных стратегических партнерских соглашений и запустили такие инновации, как Spectral CT 7500 для поддержки точной диагностики, а также расширили нашу систему визуализации Azurion, терапевтической платформы с прорывными приложениями для инновационных минимально инвазивных методов лечения. Мы также продолжали помогать потребителям лучше

заботиться о своем здоровье с помощью наших предложений по уходу за собой. Основываясь на хорошем клиентском спросе и нашем растущем портфеле заказов, мы ожидаем возобновления траектории роста и увеличения продаж в течение 2022 года».

6. Компания Fresenius Medical Care.

Немецкая международная медицинская компания Fresenius занимает шестое место в списке ведущих компаний по производству медицинского оборудования. Компания Fresenius Medical Care, насчитывающая около 123 000 сотрудников в более чем 100 странах, является крупнейшим в мире поставщиком услуг и продуктов для людей с заболеваниями почек.

В 2021 году выручка компании уменьшилась на 8%, чем в предыдущем году. Накопившееся воздействие Covid-19 повлияло на результаты компании больше, чем они первоначально предполагали в начале года, но Fresenius планирует вернуть прибыль в 2022 году. Их стратегия 2025 ставит приоритеты в том, чтобы их продукты и медицинские услуги оставались в центре внимания и концентрируясь на трех ключевых областях: континуум почечной помощи, решения для интенсивной терапии и дополнительные активы.

5. Компания Siemens Healthineers.

Siemens Healthineers со штаб-квартирой в Германии является подразделением медицинской техники конгломерата Siemens по автоматизации и электротехнике. В 2021 году объем продаж компании увеличился на 19% больше, чем в предыдущем году, на который повлияла пандемия Covid-19 [4]. В 2021 году компания Siemens Healthineers завоевала долю рынка, внедрила новые инновации и взяла курс на устойчивое развитие. Двигаясь вперед, компания продолжает свою цифровую трансформацию и по-прежнему стремится поддерживать поставщиков медицинских услуг, расширяя их возможности на пути к расширению точной медицины, преобразованию оказания помощи и улучшению качества обслуживания пациентов.

4. Компания Beckton Dickinson & Company.

Beckton Dickinson & Company, обычно называемая BD, является американской транснациональной компанией в области медицинских технологий, которая производит и продает медицинские устройства, инструментальные системы и реагенты. После снижения темпов роста в прошлом году, вызванного негативными последствиями пандемии Covid-19, в 2021 году BD изменила ситуацию, и продажи выросли на целых 18% [5]. Эти высокие результаты в значительной степени были обусловлены увеличением инвестиций в быстрорастущие пространства и ростом активности в области слияний и поглощений. BD продолжает продвигать стратегию роста, основанную на инновациях, запуская несколько новых продуктов, включая анализатор клеток FACSymphony A1, систему COR, которая представляет собой полностью автоматизированную высокопроизводительную платформу молекулярной диагностики, домашний

тест Veritor на Covid-19 и Систему ротационной эксцизионной атерэктомии Rotarex.

3. Компания Johnson & Johnson.

Johnson & Johnson находится на третьем месте в 2022 году [6]. Сегмент медицинских устройств J&J, недавно переименованный в MedTech, включает широкий спектр продуктов, используемых в ортопедии, хирургии, интервенционных решениях и области здоровья глаз. В 2021 году мировые продажи медицинских устройств выросли на впечатляющие 18%, главным образом за счет восстановления рынка после воздействия Covid-19 и связанной с этим отсрочки медицинских процедур. В последние годы J&J приложила много усилий для усовершенствования своего пространства в области медицинских технологий посредством реструктуризации, ребрендинга, продажи активов, слияний и поглощений (M&A).

2. Компания Abbott.

Американская транснациональная корпорация Abbott заняла второе место в списке крупнейших компаний-производителей медицинского оборудования в этом году [7]. Компания Abbott, основанная более 130 лет назад, имеет штаб-квартиру в Иллинойсе и поставляет медицинское оборудование и решения для здравоохранения более чем в 160 стран. Компания, насчитывающая 113000 сотрудников по всему миру, известна тем, что создает революционные продукты в области диагностики, медицинского оборудования, питания и фирменных дженериков. В 2021 году подразделения медицинского оборудования и диагностики Abbott выросли на впечатляющие 32,7% в годовом исчислении. Диагностика выросла на 42,7% благодаря тестированию на Covid-19. Abbott продолжила укреплять свой портфель медицинских устройств за счет нескольких усовершенствований в 2021 году, в том числе: запуск в США первой в своем роде технологии NeuroSphere Virtual Clinic, расширенное возмещение расходов на устройство MitraClip, одобрение FDA окклюдера ушка левого предсердия Amplatzer Amulet для лечения пациентов, перенесших инсульт, и одобрение FDA Portico с FlexNav, транскатетерной заменой аортального клапана (TAVR). Глядя в будущее, Abbott планирует решить не только медицинские задачи, которые решает их продукция, но и проблему доступа и доступности.

1. Компания Medtronic.

Medtronic снова возглавляет список крупнейших компаний по производству медицинского оборудования в мире. Компания Medtronic, в которой работают более 90000 человек в 150 странах, находится в авангарде медицинских технологий. В 2022 финансовом году Medtronic сообщила о вырубке в размере 31,7 млрд долларов США, что на 8% больше, чем в 29,4 млрд долларов США, о которых сообщалось в прошлом году. Рост был обусловлен высокими показателями в трех основных терапевтических областях: сердечно-сосудистой (+6%), медицинской хирургии (+4,6%) и неврологии (+7%). Дальнейший рост был компенсирован диабетическим

подразделением, которое сократилось на 3,1%, так как выручка в США снизилась из-за отсутствия разрешений на новые продукты.

В рамках своей стратегии управления портфелем в мае 2022 года Medtronic объявила, что вместе с DaVita она создаст новую независимую компанию по производству медицинского оборудования, ориентированную на лечение почек. Medtronic подтвердила, что внесет свой вклад в развитие Renal Care Solutions (RCS) новой компании, которая занимается разработкой широкого набора новых продуктов и решений для лечения почек.

Библиографический список

1. Cardinal Health Reports Fourth Quarter and Full Year Results for Fiscal Year 2022. URL: <https://ir.cardinalhealth.com/news/press-release-details/2022/Cardinal-Health-Reports-Fourth-Quarter-and-Full-Year-Results-for-Fiscal-Year-2022/> (дата обращения: 15.11.2022).
2. Stryker reports 2021 operating results and 2022 outlook: <https://investors.stryker.com/press-releases/news-details/2022/Stryker-reports-2021-operating-results-and-2022-outlook/default.aspx#:~:text=Consolidated%20net%20sales%20of%20%244.7,in%20constant%20currency%2C%20from%202020> (дата обращения: 15.11.2022).
3. Philips' Fourth Quarter and Annual Results 2021: <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/corpcomms/news/press/2022/philips-fourth-quarter-results-2021.html> (дата обращения: 15.11.2022).
4. Reports & presentations: <https://www.siemens-healthineers.com/investor-relations/presentations-financial-publications> (дата обращения: 15.11.2022).
5. BD Announces Fourth Fiscal Quarter And Full Year 2021 Results; Issues Fiscal Year 2022 Guidance: <https://investors.bd.com/news-releases/news-release-details/bd-announces-fourth-fiscal-quarter-and-full-year-2021-results> (дата обращения: 15.11.2022).
6. Johnson & Johnson Reports Q4 and Full-Year 2021 Results: <https://www.jnj.com/johnson-johnson-reports-q4-and-full-year-2021-results> (дата обращения: 15.11.2022).
7. Abbott. 2021 Annual Report: <https://www.abbottinvestor.com/financials/annual-reports/>(дата обращения: 15.11.2022).

УДК 6004.457.00

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ БИЗНЕС-СИСТЕМ

О.В. Тихоненкова, А.С. Данилова, Н.А. Горелова

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения» г. Санкт-Петербург

Статья посвящена автоматизации в сфере медицины. Представлены требования к созданию программного продукта. Описаны основные ошибки при проектировании информационных бизнес-систем. Особое внимание уделено сервис-ориентированной архитектуре.

Ключевые слова: *медицинский центр, обработка медицинских данных, серверная архитектура, проектирование систем.*

AUTOMATION OF MEDICAL INFORMATION BUSINESS SYSTEMS

O.V. Tikhonenkova, A.S. Danilova, N.A. Gorelova

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), St.-Petersburg

The article is devoted to automation in the field of medicine. The requirements for the creation of a software product are presented. The main mistakes in the design of business information systems are described. Particular attention is paid to service-oriented architecture.

Key words: *medical center, medical data processing, server architecture, systems design.*

В настоящее время российская медицина переживает один из самых сложных и переломных моментов в своей новейшей истории. Последние 5-6 лет наблюдается глобальное изменение подходов к созданию автоматизированных систем для комплексных медицинских центров.

Идея автоматизации – одна из самых главных идей в современном бизнесе. По прогнозам Google аналитиков, к 2025 году во всем мире произойдет полная цифровая трансформация управления качеством медицинской помощи [1].

Выявление требований к программному продукту – процесс, включающий идентификацию, выявление его характерных отличий и подробный анализ содержания продукта.

Обычно выделяют два этапа формирования требований к продукту – исследование и анализ осуществимости. Во время исследования собираются необходимые требования от пользователей, медицинского учреждения и команды разработчиков. Модель сбора информации одинаковая: цели, ограничения, используемые процессы и инструменты.

Для построения надежного автоматизированного сервиса в области медицины можно выделить следующие требования:

- архитектурные,
- командная разработка,
- масштабирование,
- обработка исключительных ситуаций.

Автоматизированные системы должны проектироваться с учетом любых непредсказуемых исключительных ситуаций. Когда система правильно спроектирована, и основные службы или потребительские сегменты

изолированы, последствия любого отказа каждого элемента незначительны. Например, временное отключение оплаты в e-commerce-платформе не должно сбить возможность поиска по товарам, просмотра или добавления продуктов в корзину для последующей покупки. Чрезвычайно высокая загрузка от одного клиента не станет причиной сбоев у всех остальных. Одним из самых известных примеров ошибки проектирования, стоившей целого проекта стал «Титаник». Отсеки корабля не были достаточно изолированы и проблемы в одном из них повлекли гибель всех остальных.

Для медицинских информационных бизнес-систем, которые, как правило, всегда содержат серверную и клиентскую часть, систему хранения данных и протоколы сетевого взаимодействия, можно условно выделить следующие типы ошибок [2]:

- ошибки в программном комплексе, допущенные при разработке и не обнаруженные при тестировании
- ошибки, возникающие при вводе неверных данных в систему
- компьютерные вирусы, которые вмешиваются в работу программы
- выход из строя элементов компьютеры и обслуживающих его систем
- выход из строя или сбой в работе измерительных приборов и датчиков, которые используются в работе системы.

Во избежание описанных выше ошибок разработчики используют сервис-ориентированные архитектуры (SOA) - это архитектура мини-сервисов. Концепция мини-сервисов состоит в разделении логики приложения на небольшие части, каждая из которых выполняет свой набор функций приложения и использует только свои данные. Такая возможность позволяет более гибко организовать доступ к данным и управлять нагрузкой на сервера. Простой пример, социальные сети используют для функциональности своих возможностей мини-сервисы, отвечающие за обработку сообщений, публикаций, данных пользователей, видео файлов.

С помощью мини-сервисов можно также разделить коллектив разработчиков на небольшие группы, каждая из которых выполняет разработку собственного мини-сервиса не зависимо от других. Такой подход существенно повышает производительность труда разработчика и делает возможным разработку сразу нескольких приложений с использованием разных языков программирования и платформ. В плане масштабируемости, мини-сервисы поддаются горизонтальной масштабируемости. Это означает, что сервис использует не только свой отдельный сервер, но и размещает мини-сервисы на одной рабочей станции. Появляется возможность управлять нагрузкой, вроде, создания новых мини-сервисов по мере повышения нагрузки или удаление после спада. Главным недостатком мини-сервисов считаются высокие расходы, применение которых оправданно только при создании больших проектов.

Еще одной особенностью мини-сервисов является то, что он связан с подходом к предоставлению вычислительных мощностей, заключающийся в размещении мини-сервисов в едином виртуальном пространстве, вместо

обычного предоставления виртуальных и/или физических серверов. На сегодняшний день известны всего две платформы, реализованные по такому принципу: Lamoda производства Amazon и Azure Service Fabric от Microsoft. Среда Amazon ориентируется на разработку мини-сервисов заточенных под обработку каких-либо событий, произошедших в сети AWS. Данный подход применим для выполнения различных служебных задач и асинхронной обработки данных. Подход Microsoft, в свою очередь, может предложить лишь классические модели разработки мини-сервисов и обеспечения их взаимодействия с помощью «надежных коллекций».[3]

Таким образом, для успешного прохождения процесса автоматизации в области медицины, созданию медицинских информационных бизнес-систем возможно использование сервис-ориентированных архитектур (SOA).

Библиографический список

1. Открытое исследование компании Google о прогнозах будущего (дата обращения 02.10.2019).
2. Стив Макконелл. Совершенный код, 2-е издание. Санкт-Петербург: издательство «Питер», 2012.
3. «The JSON Data Interchange Format». ECMA International. Октябрь 2022.

УДК 621.317.616

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВ МАГНИТОТЕРАПИИ

А.А. Амосов

Научный руководитель – Каплан М.Б., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им.

В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрена измерительная система регистрации распределения магнитного поля для устройств магнитотерапии с использованием трехкомпонентного датчика магнитного поля. Предложена структура автоматизированной системы.

***Ключевые слова:** регистрация магнитного поля, распределение магнитного поля, трехкомпонентный датчик магнитного поля, магнитное поле.*

MEASURING SYSTEM FOR RECORDING MAGNETIC FIELD DISTRIBUTION FOR MAGNETIC THERAPY DEVICES

A.A. Amosov

Scientific supervisor – M.B. Kaplan, Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Ryazan

A measuring system for recording the magnetic field distribution for magnetic therapy devices using a three-component magnetic field sensor is considered. The structure of the automated system is proposed.

Keywords: magnetic field registration, magnetic field distribution, three-component magnetic field sensor, magnetic field.

Измерение магнитного поля с помощью трехкомпонентного датчика позволяет измерять магнитное поле в 3 направлениях, что в свою очередь позволяет получить 3D картину магнитного поля. Расположив большое количество таких датчиков в устройстве магнитотерапии или в непосредственной близости от него, можно получить картину распределения магнитного поля, создаваемого этим устройством. Полученная картина позволит анализировать и изменять это магнитное поле до нужных параметров.

В качестве датчика была выбрана микросхема TLE493D-A2B6 [1], позволяющая измерять магнитное поле в трех взаимоперпендикулярных направлениях. Кроме того в состав микросхемы входят датчик температуры, АЦП, система питания и интерфейс I2C.

Работа датчика основан на эффекте Холла, заключающемся в возникновении на боковых сторонах проводника, через который протекает ток, разности потенциалов, при действии на него магнитного поля. При выборе датчика учитывался низкочастотный и низкоамплитудный характер магнитных полей применяемых при магнитотерапии.

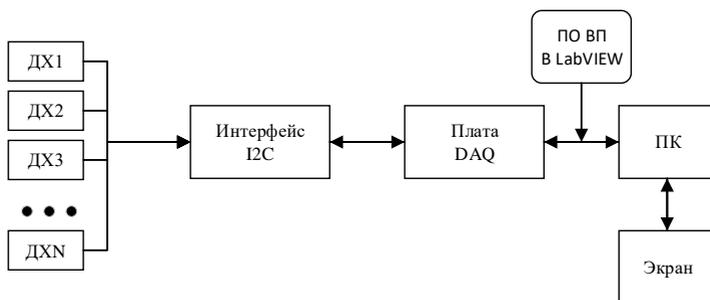


Рис. 1 – Система регистрации магнитного поля

Для построения измерительной системы использованы технологии National Instruments, так на аппаратном уровне сопряжение датчиков с персональным компьютером реализовано через плату сбора данных NI PCIE-6321, а для реализации программной составляющей задействована среда LabVIEW [2]. В системе датчики подключены к цифровому порту ввода-вывода платы сбора данных. Для управления датчиками и обмена данными интерфейс I2C со стороны платы сбора данных построен программно в виде виртуального прибора, использующего драйвер NI DAQmx. Также

спроектирован виртуальный прибор последовательного опроса датчиков, формирующий массивы составляющих магнитного поля, виртуальный прибор построения картин распределения магнитного поля, а также виртуальный прибор расчета и анализа интегральных показаний магнитного поля.

Предложенная структура измерительной системы и текущий уровень ее реализации обеспечивают регистрацию и измерение отдельных характеристик магнитного поля, создаваемого магнитотерапевтическими аппаратами.

Библиографический список

1. Магнитные 3D-датчики для рынков потребительской и промышленной электроники: [Электронный ресурс] // КОМПЭЛ. URL: <https://www.compel.ru/lib/78032>. (Дата обращения: 03.11.2022).
2. Питер Блум LabVIEW: стиль программирования. – М.: Изд-во ДМК Пресс, 2016. – 400 с.

УДК 004.75

3D МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕРДЦА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.А. Гасанова, А.В.Пушкарева, А.И. Жиленко, Д.А.Бородин
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»,
г. Пенза

Проведен анализ измерительной информации, полученной на основе компьютерной томографии, для определения геометрических параметров сердца пациента. Описана взаимосвязь между геометрическими размерами сердца и его электрической активностью.

Ключевые слова: 3D модель сердца, кардиографическая информация, флюорография, электрокардиография, томография, электрическая активность сердца.

3D HEART MODELING BASED ON TOMOGRAPHIC IMAGE ANALYSIS

V.A. Gasanova, A.V. Pushkareva, A.I. Zhilenko, D.A. Borodin
Penza State Technological University, Penza

An analysis of the measurement information obtained on the basis of computed tomography was carried out to determine the geometric parameters of the patient's heart. The relationship between the geometric dimensions of the heart and its electrical activity is described.

Key words: 3D model of the heart, cardiographic information, fluorography, electrocardiography, tomography, electrical activity of the heart.

В последние годы на фоне пандемии новой коронавирусной инфекции наблюдается динамика увеличения смертности от сердечно-сосудистых заболеваний. В год умирает около 17 500 000 человек, при этом примерно 80% случаев инфаркта можно предотвратить. Электрокардиографический метод исследования сердца является одним из наиболее распространенных в кардиологии. Для извлечения дополнительной информации об электрической активности сердца, используются данные многоканальной системы электрокардиографических отведений, включающие электрокардиосигналы и координаты электродов, размещенных на поверхности торса человека. Внедрение персонализированного программно-алгоритмического обеспечения для оценки состояния сердца позволит получать более достоверную оценку электрической активности сердца и своевременно проводить диагностику состояния пациента, предотвращая возникновение критических ситуаций.

Современное направление развития неинвазивной диагностики состояния сердца-создание персонализированных геометрических моделей сердца. Электрическая активность взаимосвязана с геометрическими параметрами сердца: сердце является конусообразным полым мышечным органом, его форма и расположение индивидуально и зависит от множества «внешних» и «внутренних» факторов[1].

При построении модели важно индивидуализировать измерительную кардиографическую информацию о физиологическом и анатомическом состоянии сердца пациента, а также его расположение в грудной клетке [2]. Реализация подхода возможна на основе использования данных томографических изображений (рис1).



Рис. 1. Этапы персонализированной оценки состояния сердца

В качестве первичной информации рассматриваются индивидуальные антропометрические данные: флюорографические, кардиографические, данные магнитно-резонансной томографии (МРТ), компьютерной томографии (КТ) и эхокардиографии (ЭхоКГ).

Положение сердца в грудной клетке определяется углом наклона к горизонтали длинника сердечной тени. Последний соединяет правый атриовазальный угол с верхушкой сердца [2,3].

По флюорографическим снимкам определяется:

- смещение центра сердца относительно центра грудной клетки по оси абсцисс в пикселах;
- смещение центра сердца относительно центра грудной клетки по оси аппликат в пикселах.

По данным ЭКГ определяются конечный систолический радиус, конечный диастолический радиус, конечный систолический объем и конечный диастолический объем ЛЖ сердца пациента.

Во время исследования ЭхоКГ с контрастом оцениваются линейные размеры и объемы камер сердца.

На снимках МРТ определяется размер, форма, структура и плотность внутренних органов и окружающих их тканей.

Многодипольная модель эквивалентного электрического генератора сердца связывает потенциал в точке отведения на поверхности торса с параметрами диполей на поверхности сердца уравнением, учитывающим среднее удельное сопротивление тела [3,4,5]. Разработка персонализированной геометрической модели сердца и торса, связанной с электрической моделью, позволит учитывать индивидуальные особенности пациента-проводимости тканей, органов, участков костей и др и их размеры., переходя от обобщенного расчета к индивидуальному, реализуя систему персонализированного здравоохранения, рекомендованного на заседании Президиума РАН.

Процесс расчета потенциалов, создаваемых генератором сердца в различные моменты времени позволит воссоздать карты потенциала поверхности туловища. С помощью инструментов 3д визуализации возможно отображать величины электрического потенциала с помощью цветовых шкал: наибольшее положительное потенциальное значение характеризуется наибольшей насыщенностью красного цвета, а для отрицательного потенциала – по насыщенности синего цвета [6].

Использование персонализированного программно-алгоритмического обеспечения, реализующего систему умной визуализации, позволит создавать максимально реалистичные персонализированные 3D-модели сердца человека, их дополнительная цветовая визуализация приведет к более доступному восприятию врачом и последующей достоверной оценке электрической активности сердца и, соответственно, более точным результатам исследования.

Библиографический список

1. Титомир Л.И. Электрический генератор сердца. М.: Наука, 1980. — 372 с.
2. Бодин О.Н. Проведение анализа измерительной кардиографической информации для построения компьютерной модели торса и сердца пациента /Бодин О. Н., Сергеевков А. С., Царев П. С., Целикин М. А.// Измерение. Мониторинг.Управление.Контроль.– 2013. – No 1(3). – С. 37–42.
3. Кузьмин А.В. Определение дипольных моментов при моделировании электрической активности сердца с модификацией геометрических параметров/Кузьмин А.В.//Измерение. Мониторинг.Управление.Контроль.– 2019. – N 1(27). – С. 87–93
4. Полосин В.Г. Система стохастического мониторинга состояния и электрофизиологических характеристик сердца на основе энтропийно-параметрического анализа: диссертация ... доктора Технические наук: 05.11.17 /

Полосин Виталий Германович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»], 2018.- 387 с.

5. Кузьмин, А. В. Анализ и моделирование электрической активности сердца с динамическим изменением геометрических параметров модели / А. В. Кузьмин // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2018. – № 1 (63). – С. 95–102.

6. Mateasik, A. DECARTO – a tool for superposition of functional and structural characteristics of the heart / A. Mateasik, L. Bacharova, J. Kniz, L. I. Titomir // Biomedizinische Technik. – 2001. – Вып. 46, № 2. – С. 79–81.

УДК 612.141:004.9

СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ПОДАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПОМЕХ В СИГНАЛАХ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ

О.А. Демочкина, С.Ф. Лёвин, Л.Ю. Кривоногов

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза

Обоснована актуальность оценки эффективности алгоритмов подавления высокочастотных помех в сигналах пульсовой волны (СПВ), полученных с применением гидроманжетной технологии. Разработана структура системы оценки эффективности подавления помех в СПВ, на основе которой создан виртуальный прибор.

Ключевые слова: измерение артериального давления, гидроманжетная технология, сигналы пульсовой волны, моделирование, подавление помех, оценка эффективности.

A SYSTEM FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF ALGORITHMS FOR SUPPRESSING HIGH-FREQUENCY INTERFERENCE IN PULSE WAVE SIGNALS

O.A. Demochkina, S.F. Levin, L.Y. Krivonogov

Penza State University, Penza

The relevance of evaluating the effectiveness of algorithms for suppressing high-frequency interference in pulse wave signals (PWS) obtained with the use of hydro-cuff technology is substantiated. The structure of the system for evaluating the effectiveness of interference suppression in the PWS has been developed, on the basis of which a virtual device has been created.

Keywords: blood pressure measurement, hydro-cuff technology, pulse wave signals, modeling, interference suppression, efficiency evaluation.

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) остаются одной из ведущих причин смертности населения в большинстве экономически развитых стран мира. Главным фактором риска ССЗ является артериальная гипертензия (АГ), характеризующаяся стойким повышением артериального давления (АД). В

настоящее время собрана серьезная доказательная база, свидетельствующая о том, что снижение АД может значительно уменьшить преждевременную заболеваемость и смертность [1].

Таким образом, для достоверной оценки состояния сердечно-сосудистой системы необходим систематический контроль АД. Современные клинические рекомендации по лечению больных с артериальной гипертензией [1] требуют достаточно высокой точности измерения систолического и диастолического АД. Минимальные диапазоны систолического и диастолического АД для различных стадий АГ составляют всего 10 и 5 мм рт.ст., соответственно [1], поэтому абсолютная погрешность измерения АД не должна превышать ± 2 мм рт. ст.

В настоящее время для измерения АД традиционно используют два неинвазивных метода: аускультативный (метод Н.С. Короткова) и осциллометрический. По различным оценкам абсолютная погрешность измерения АД аускультативным методом составляет 7–15 мм рт. ст. [2 – 5], а относительная погрешность осциллометрических приборов – 10 ...30 % [6].

Для повышения точности измерения АД в рамках осциллометрического метода была предложена гидроманжетная технология (ГМТ) формирования осцилляций давления–сигналов пульсовой волны (СПВ) [7, 8, 9]. Замена воздуха на жидкость в манжете существенно влияет на процесс формирования осцилляций и обеспечивает значительное увеличение их амплитуды (до 10 – 15 мм рт. ст.), что создает предпосылки для более точного измерения АД. Точность измерения АД будет определяться точностью нахождения характерных точек СПВ – максимумов осцилляций в каждом цикле. Основной проблемой точного определения координат характерных точек является наличие помех, искажающих полезный сигнал. Следовательно, устранение помех в СПВ с минимальным искажением формы сигнала является основой точного измерения АД.

Эффективность подавления помех целесообразно оценивать с помощью численного моделирования. Тогда методика оценки эффективности алгоритмов подавления помех будет заключаться в выполнении следующих этапов: 1) формирование модельного (тестового) СПВ; 2) генерирование случайных помех с заданными характеристиками; 3) формирование входного сигнала, как смеси тестового СПВ и помехи; 4) выбор алгоритма фильтрации; 5) вычисление показателей эффективности; 6) усреднение полученных показателей эффективности для большого числа реализаций помех.

Предложенная методика позволила разработать структурную схему системы для оценки эффективности подавления ВЧ помех в СПВ (рис. 1).

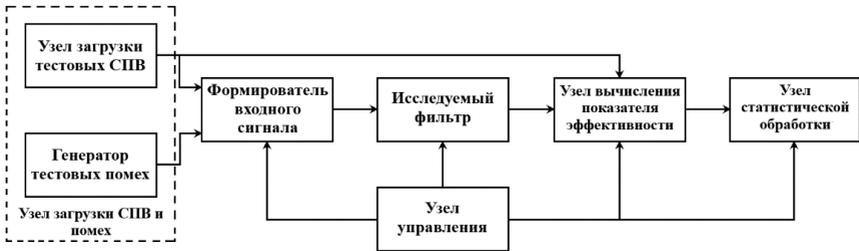


Рис. 1 – Структурная схема системы оценки эффективности подавления ВЧ помех в СПВ

Для создания тестовых сигналов необходимо оценить характеристики и параметры СПВ и сопровождающих их помех. СПВ, сформированные с применением ГМТ, представляют собой пульсации (осцилляции) давления амплитудой 5 –15 мм рт. ст., следующие с частотой сердечных сокращений. Вершины осцилляций по форме достаточно близки к параболам. Графическое изображение СПВ и отмеченного стрелкой увеличенного участка вершины осцилляции (окрестности точки максимума) приведены на рис. 2.

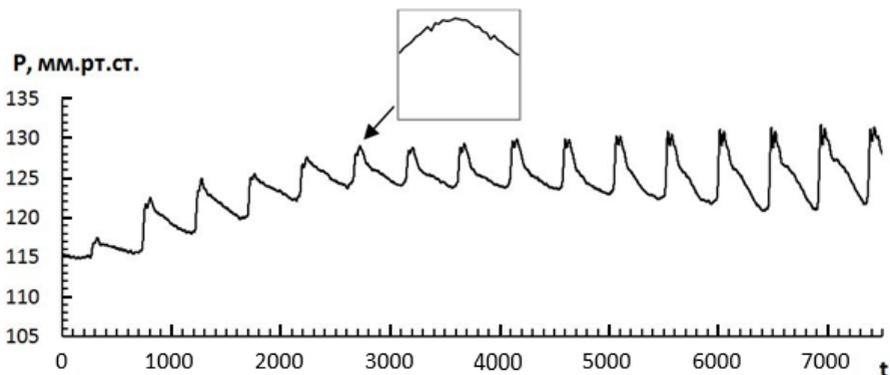


Рис. 2 – Пример СПВ

Зарегистрированные СВП содержат помехи различной природы. Проведенные исследования выявили две составляющие высокочастотных помех: высокочастотный флуктуационный шум и импульсный шум со случайными значениями импульсов (рис.3).

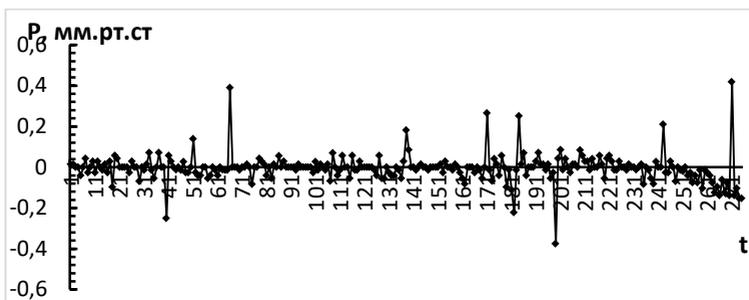


Рис. 3 – ВЧ помехи в сигнале пульсовой волны

Высокочастотный шум имеет распределение близкое к гауссовому, нулевое математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение $\sigma=0,03 \dots 0,05$ мм рт. ст. Импульсный шум представляет собой разнополярные импульсы с амплитудами в диапазоне $\pm 0,5$ мм рт. ст. и вероятностью появления $P=0,05 \dots 0,1$. СПВ содержит ряд других помех, которые не являются высокочастотными и в данной работе не рассмотрены.

Моделирование всего СПВ является достаточно сложной и избыточной задачей, поэтому было проведено моделирование лишь участка вершины осцилляций (искажение именно этих участков СПВ определяет точность измерения АД).

В качестве модели участка вершины осцилляций была выбрана парабола, описываемая выражением (1):

$$p = -0,15t^2 + 4t - 3. \tag{1}$$

Моделируем участок СПВ длительностью 79 отсчетов ($t=1 \dots 79$), что при частоте дискретизации 500 отсч./с составляет 8 с. Подобная парабола соответствует вершине СПВ при частоте сердечных сокращений порядка 60 с^{-1} .

Наиболее адекватной моделью реальных ВЧ помех является модель в виде аддитивной смеси белого гауссовского шума и случайной импульсной помехи со случайными значениями импульсов.

Воздействие импульсного шума на сигнал представим следующей математической моделью:

$$y_i = \begin{cases} \varepsilon_i, & \text{с вероятностью } P, \\ x_i, & \text{с вероятностью } (1 - P), \end{cases} \tag{2}$$

где x_i – значение отсчета сигнала, y_i – искаженное импульсным шумом значение отсчета сигнала, ε_i – случайная величина из интервала $[-9\sigma \dots -3\sigma, 3\sigma \dots 9\sigma]$ с равномерным законом распределения, $P \in [0,05 \dots 0,1]$ – вероятность появления импульсов.

Так как точность измерения АД определяется точностью нахождения характерных точек СПВ в каждом цикле, то в качестве критерия эффективности подавления ВЧ помех целесообразно выбрать абсолютную ошибку (АО) отклонения амплитуды характерной точки после фильтрации y_i от ее амплитуды x_i на модельном тестовом сигнале $AO = |x_i - y_i|$.

Виртуальный прибор для оценки эффективности подавления ВЧ помех в СПВ разработан в среде LabVIEW. В основу его создания положена структурная схема системы, приведенная на рисунке 1.

Блок-диаграмма разработанного ВП для оценки эффективности алгоритмов подавления ВЧ помех в СПВ представлена на рисунке 4.

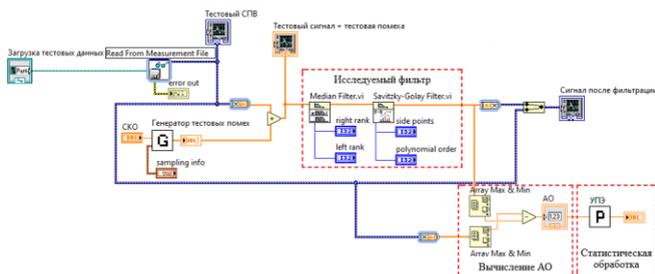


Рис. 4 – Блок-диаграмма ВП для оценки эффективности алгоритмов подавления ВЧ помех в СПВ

В рамках создания ВП разработан генератор тестовых помех (СубВП G), который реализует случайную помеху в виде смеси белого гауссовского шума и случайной импульсной помехи со случайными значениями импульсов, в соответствии с выражением (2).

С помощью реализованного ВП, была оценена эффективность подавления ВЧ помех с использованием последовательно включенных 5-и точечного медианного фильтра и полиномиального сглаживающего фильтра Савицкого-Голя (порядок 3, апертура 13). В результате применения такого алгоритма при воздействии тестовой помехи с $\sigma=0,05$ абсолютная ошибка отклонения амплитуды характерной точки СПВ снижается примерно в два раза (с 0,4 до 0,2 мм рт. ст.), что дает возможность повышения точности измерения АД. Таким образом, применение разработанного ВП позволяет выбрать алгоритмы, обеспечивающие высокоточное определение характерных точек СПВ, что в свою очередь даст возможность повысить точность измерения АД с применением гидроманжетной технологии.

Библиографический список

1. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Hypertension (ESH). Williams B.,

- Mancia G., Spiering W. et al. // European Heart Journal. 2018. Vol.39. – P. 3021-3104.
2. Bailey RH, Bauer JH. A review of common errors in the indirect measurement of blood pressure: sphygmomanometry. Archivesofinternalmedicine. 1993 Dec 27; 153(24):2741-2748.
3. Babbs CF. The origin of Korotkoff sounds and the accuracy of auscultatory blood pressure measurements. JournaloftheAmericanSocietyofHypertension. 2015 Dec 31; 9(12):935±50.
4. Celler BG, Le P, Basilakis J, Ambikairajah E. Improving the quality and accuracy of non-invasive blood pressure measurement by visual inspection and automated signal processing of the Korotkoff sounds. PhysiologicalMeasurement. 2017 May 3; 38(6):1006.
5. Люсов В.А., Волов Н.А., Кокорин В.А. Проблемы и достижения в измерении артериального давления // РМЖ. – 2003. – № 19. С. 1093.
6. Celler BG, Argha A, Le PN, Ambikairajah E (2018) Novel methods of testing and calibration of oscillometric blood pressure monitors. PLoSONE 13(8): e0201123. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201123>
7. Пат. № 2652070 Российская Федерация. Электронный тонометр / Геращенко С.И., Геращенко М.С.; опубл. 24.04.2018, Бюл. № 12.
8. Пат. № 104437 Российская Федерация. Тонометр Геращенко / Геращенко М. С.; опубл. 20.05.2011.
9. Геращенко, М. С. Использование гидроманжетного тонометра для оценки гемодинамических параметров с повышенной точностью / М. С. Геращенко, Н. А. Волкова, С. М. Геращенко. Известия высших учебных заведений // Поволжский регион. Технические науки. – 2016. – № 3. – С. 116–125.

УДК 537.635

**РАЗРАБОТКА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОНТРАСТА МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

А.В. Никитина, Ю.В. Богачев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург

Разработана медицинская информационная система для оптимизации контраста при МРТ исследованиях. Реализована база данных пациентов, средство просмотра и обработки томограмм – DICOM viewer и модуль оптимизации контраста МР-изображений.

Ключевые слова: МРТ, оптимизация МР-изображений, DICOM.

DEVELOPMENT OF A MEDICAL INFORMATION SYSTEM FOR OPTIMIZING THE CONTRAST OF MAGNETIC RESONANCE IMAGES

A.V. Nikitina, Y.V. Bogachev

Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg

A medical information system has been developed to optimize contrast in MRI studies. A database of patients, a means of viewing and processing tomograms – DICOM viewer and a module for optimizing the contrast of MR images are realized.

Key words: MRI, optimization of MR images, DICOM.

Для корректной диагностики в МРТ необходима высокая точность и четкость МР-изображений. Достигается это путем решения задачи не только о максимизации контраста интересующей области и соотношения сигнал/шум, но и о минимизации времени сканирования. Оптимизация времени сканирования позволяет сокращать экономические расходы медицинского учреждения, путем увеличения потока пациентов. Кроме того, само качество томограмм растет, так как снижаются негативные эффекты от движения пациента. Исходя из вышеперечисленного, актуальной становится задача предварительной оптимизации параметров МРТ исследования.

В данной работе представлена информационная система для оптимизации контрастности МРТ-изображений, которая позволяет моделировать МРТ-изображения с различными параметрами МРТ-сканирования. Структурная схема разработанной информационной системы представлена на рис. 1.

Данная система состоит из трех основных блоков. Первый блок - это блок управления базой данных (БД). С помощью этого блока пользователь может взаимодействовать с данными пациентов и просматривать проведенные для них МРТ исследования. В блоке управления БД реализована защита от введения повторяющихся или некорректных данных. Кроме того у каждого пользователя имеется свой уровень доступа к данным.

Второй блок это специализированный блок визуализации томограмм Dicom Viewer [1-2]. С помощью этого блока пользователь без применения стороннего ПО может просматривать и обрабатывать томограммы для дальнейшего использования их в блоке оптимизации контраста. Для предварительной обработки томограмм в данном блоке реализована оконная фильтрация и построение гистограммы изображения. А для взаимодействия с томограммой реализованы функции измерений расстояний, углов и определения реального положения точки относительно пациента.

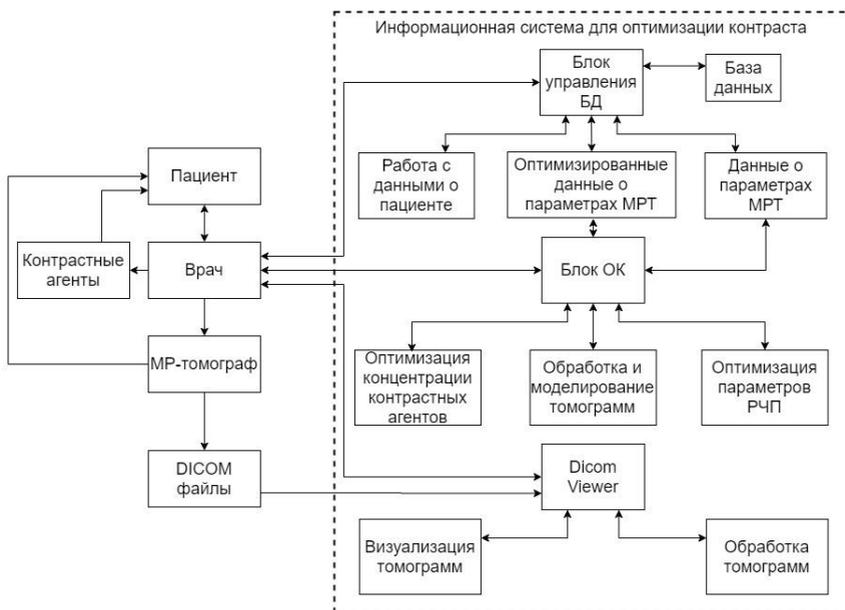


Рис. 1 – Структурная схема разработанной информационной системы

Третий блок это блок оптимизации контраста (ОК). В этом блоке пользователь выбирает последовательность импульсов, устанавливает ее параметры и выбирает контрастные вещества. Для заданных условий программа реализует предварительное моделирование МР-изображения для выбранного органа и строит зависимость интенсивности сигнала от каждого параметра выбранной последовательности для различных концентраций контрастных веществ. При изменении параметров графики и результаты предварительного моделирования динамически изменяются. После выбора оптимальных значений параметров пользователь может выполнить вторичное моделирование МР-изображения, в котором реальная томограмма будет сегментирована на области, интенсивность которых будет меняться в зависимости от выбранных условий.

Разработанный функционал позволяет подбирать параметры МРТ-исследования для каждого конкретного случая. Интерфейс разработанного блока оптимизации контраста показан на рис. 2.

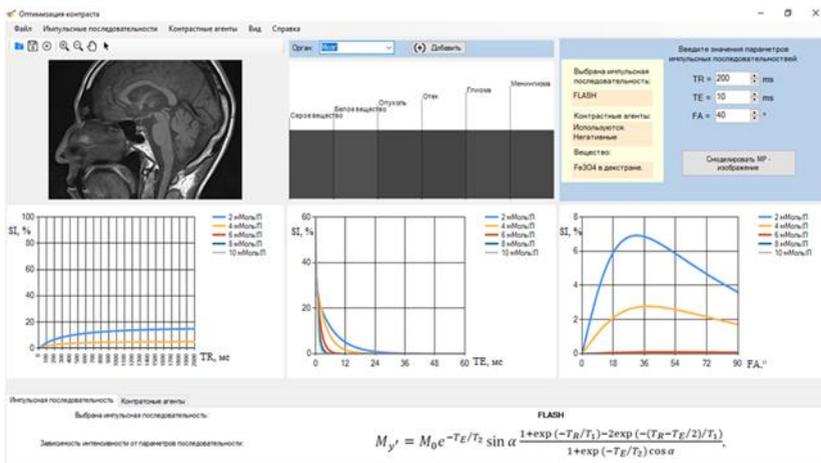


Рис. 2 – Интерфейс блока оптимизации контраста

Разработанная медицинская информационная система обладает широкими функциональными возможностями и позволяет:

- 1) ускорить проведение исследования МРТ за счет предварительной оптимизации параметров радиочастотных последовательностей;
- 2) оценить изменение контраста томограмм в МРТ исследованиях при варьировании параметров режима сканирования и при использовании различных контрастирующих агентов;
- 3) определить необходимую концентрацию контрастирующих агентов для достижения определенного контраста, что позволит снизить вред для организма пациента, за счет минимизации введенных контрастных веществ;
- 4) упростить работу с данными пациентов, которым проводится МРТ сканирование;
- 5) визуализировать и обрабатывать томограммы непосредственно в самой информационной системе без использования стороннего ПО.

Библиографический список

1. D. Naak, C. Page, T. M. Deserno, “A Survey of Dicom Viewer Software to Integrate Clinical Research and Medical Imaging”, J Digit Imaging, 2016, pp. 206–215.
2. T. Hacklander, H. Mertens. “Virtual MRI: A PC-based Simulation of a Clinical MR Scanner”, Academic Radiology, vol 12, No 1, January 2005, pp. 85–96.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ

М.Ю. Костенкова¹, М. А. Сидорова²

¹ГБУЗ «Областной онкологический диспансер» г. Пенза (ГБУЗ «ООД»);

²ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»
(ПензГТУ)

Статья посвящена актуальной теме разработки программного модуля автоматизации процесса постановки диагноза, а также прогноза последующих состояний пациентов в отделениях реанимации и интенсивной терапии. Внедрение разрабатываемого подмодуля отображения текущего состояния пациента на основе когнитивной графики в медицинскую практику позволит существенно сократить время на принятие решений врачом медицины критических состояний.

Ключевые слова: *система поддержки принятия решений, медицина критических состояний, когнитивная графика, программа автоматизации.*

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE MODULE FOR DISPLAYING THE CURRENT STATE OF THE PATIENT BASED ON COGNITIVE GRAPHICS METHODS

M. Yu. Kostenkova¹, M. A. Sidorova²

¹GBUZ "Regional Oncological Dispensary" Penza (GBUZ "OOD");

²Penza State Technological University (PenzSTU)

The article is devoted to the topical topic of developing a software module for automating the process of diagnosis, as well as predicting the subsequent conditions of patients in intensive care and intensive care units. The introduction of the developed submodule for displaying the current state of the patient based on cognitive graphics into medical practice will significantly reduce the time for decision-making by a doctor of critical condition medicine.

Keywords: *decision support system, critical condition medicine, cognitive graphics, automation program.*

В современном мире постоянно увеличивается объем разнородной информации, который используется людьми в различных сферах деятельности. Человечество всегда стремилось к автоматизации процессов сбора и управления информацией.

Особенно востребованными в медицинской диагностике являются современные информационные системы, способные воспроизводить и обрабатывать колоссальные объемы специализированных изображений (компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), рентгеновские, ультразвуковые исследования, клинические анализы с

различными показателями и многое другое) [1]. Обработка параметров изображений требует создания специализированного программного обеспечения, которое служило бы помощником врачу [2]. Возрастает роль автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР). Однако чаще всего решения принимаются без использования СППР, основываясь лишь на личном опыте экспертов и их интуиции. Подобная тенденция прослеживается и в областях медицины, связанных с реаниматологией и медициной критических состояний.

Анализ научных публикаций, посвященных СППР в медицине показал, что на рынке услуг существует множество подобных систем, сервисов и приложений. Вот пример некоторых, внедренных в клиническую практику СППР:

- информационные решения ICCA Philips для анестезиологии и реанимации (IntelliSpace Critical Care and Anesthesia). Указанная система может давать рекомендации по ведению больного, предлагает шаблоны назначений;

- Webiomed - платформа предиктивной аналитики и управления рисками в здравоохранении на основе машинного обучения [3];

- сервис ОНКОНЕТ для дистанционного мониторинга онкологических пациентов на иммунной и таргетной терапии;

- IBM Watson Health - система помогает врачам принимать обоснованные решения о лечении.

Представленные медицинские информационные системы (МИС) имеют возможность отображения текущего состояния пациента по многим параметрам в виде графиков и диаграмм. Однако анализ подобной информации требует специализированных знаний.

Обработка многопараметрических данных (вся информация о пациенте) медицинским специалистом занимает некоторое время. Например, врачу-реаниматологу, за короткое время, сложно осмыслить изменения временных рядов мультимодальных клинических данных, тем более, изучить и проследить их взаимодействия и корреляции между собой. В связи с этим актуальной является проблема визуализации информационных потоков. Визуализация подобных изображений способствует формированию экспертного заключения и своевременному прогнозированию острого периода заболевания или фиксации критического состояния пациента. Таким образом, актуальность темы автоматизации процесса сбора и обработки медицинской информации в режиме «on line» не вызывает сомнений.

Авторы статьи предлагают автоматизировать процесс сбора информации о динамике изменения физиологических параметров пациентов в отделениях реанимации и интенсивной терапии с помощью разработки специальной программы, созданной на основе метода когнитивной графики («тепловая карта» и «диаграмма-радар»). Указанные методы когнитивной графики выбраны для наглядности представления данных о пациентах. Графическое отображение информации визуально подскажет врачу степень отклонения

рассматриваемых физиологических данных от нормы, а также ускорит процесс восприятия информации специалистом-медиком. В этом главное преимущество автоматизированного способа представления данных, по сравнению с бумажным носителем.

Фрагмент рабочей области программы автоматизации представлен на рисунке 1. Разрабатываемая программа является частью модуля «База данных пациентов» для наглядного отображения состояния пациента на момент готовности лабораторных анализов.

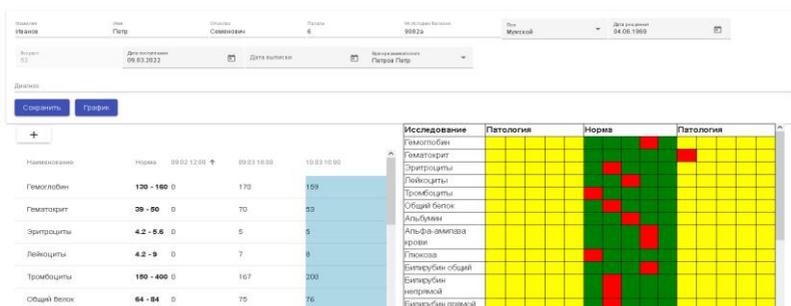


Рис. 1 – Фрагмент рабочей области создаваемой программы

Внедрение разрабатываемого подмодуля отображения текущего состояния пациента в имеющиеся программные продукты для систем поддержки принятия решения позволит существенно сократить время на принятие решений, что, соответственно, сократит количество летальных исходов в медицине критических состояний.

Разрабатываемая программа с удобным интерфейсом позволит заменить рукописные протоколы с клиническими данными. Предлагаемую систему автоматизации представления медицинских данных пациентов в критическом состоянии можно использовать в качестве тренажера-симулятора в ВУЗах медицинского профиля для студентов, врачей-интернов, курсантов-медиков.

Библиографический список

1. Амчславский В.Г., Арсеньев С.Б. и др. Настоящее и будущее цифровой реанимации / Медицинский алфавит: Неотложная медицина / Амчславский В.Г., Арсеньев С.Б. и др. – Москва, том № 4, № 38 / 2018, С. 49-55
2. Рыбак В.А., Шокур А. Аналитический обзор и сравнение существующих технологий поддержки принятия решений / «Системный анализ и прикладная информатика». 2016;(3): С. 12-18.
3. <https://zdrav.expert/index.php/Продукт:Webiomed> - Платформа предиктивной аналитики и управления рисками в здравоохранении на основе машинного обучения.

СЕМАНТИЧЕСКИЙ ЧАТ-БОТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАТОЛОГИЙ БЕРЕМЕННОСТИ

Д.С. Рипка

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

В период беременности важна своевременная диагностика здоровья матери и плода. Самым распространенным методом диагностики состояния плода является ультразвуковое исследование, но плановый характер такой процедуры не позволяет оперативно выявлять патологии беременности. По этой причине возникла необходимость разработки методов диагностики, которые будут основываться на субъективной оценке состояния женщины. В данной статье рассматриваются преимущества использования семантического чат-бота при определении патологий беременности.

Ключевые слова: чат-бот, семантический чат-бот, патологии беременности, опросник.

SEMANTIC CHAT-BOT FOR DEFINING PREGNANCY PATHOLOGIES

D.S. Ripka

Saint-Petersburg state electrotechnical university “LETI” named after V.I. Ulyanov (Lenin), Saint-Petersburg

Timely diagnosis of the health of the mother and fetus is important During pregnancy. The most common method for diagnosing the condition of the fetus is ultrasound, but the planned nature of this procedure does not allow for the rapid detection of pregnancy pathologies. For this reason, it became necessary to develop diagnostic methods that would be based on a subjective assessment of the woman's condition. This article discusses the benefits of using a semantic chatbot in determining pregnancy pathologies.

Key words: chatbot, semantic chatbot, pregnancy pathology, questionnaire.

Патологии беременности представляют особую опасность, так как непосредственно влияют как на развитие плода, так и на здоровье матери. Существует множество заболеваний, которые развиваются у здоровой женщины во время беременности. Согласно докладом ВОЗ, смертность матерей непрерывно снижается, как и рождение детей с серьезными патологиями развития, что связано с диагностикой во время беременности. Однако, в последние годы наблюдается тенденция роста преждевременного родоразрешения. На данный момент в развитых странах 9% детей рождаются преждевременно, в странах с низким уровнем дохода - до 12%. Большинство этих детей впоследствии имеют проблемы со здоровьем (вплоть до тяжелых форм инвалидности и даже смерти).

Для предотвращения патологий беременности согласно законодательству

РФ на каждом триместре проводится плановый скрининг, включающий в себя ультразвуковое исследование. При необходимости УЗИ может проводиться раньше, но показанием в таком случае чаще всего становится ухудшение самочувствия матери, из-за чего оказание медицинской помощи может быть уже поздно. На этом этапе невозможно предотвратить патологию. Даже нормализовав состояние матери и плода, возможны отклонения в развитии плода, которые не будут определены до момента родоразрешения.

Однако, как известно, методы диагностики, оказывающие влияние на организм, хотя и считаются в большинстве своем безвредными, но злоупотреблять ими запрещено. А это значит, что частое проведение УЗИ, даже по показаниям, является нежелательным, хотя и необходимым.

Главной причиной обращения беременной женщины в медицинское учреждение является ухудшение самочувствия. Часто бывает так, что пациентка игнорирует своё состояние, ссылаясь на стресс или временные расстройства, а потому визит ко врачу откладывается до проявления более острых симптомов патологии беременности. Поэтому возникает необходимость в методе диагностики состояния женщины, который будет опираться на её субъективные ощущения.

Мониторинг таких показателей как ЭКГ, сатурация, биохимический анализ крови хотя и является одним из самых эффективных методов контроля здоровья пациента, тем не менее нельзя назвать достаточным для оперативного диагностирования патологий переменности. Многие патологии беременности не могут быть определены с помощью этих показателей, но они сказываются на самочувствии матери. Поэтому разработка метода оценки состояния матери на основе её самочувствия является актуальной задачей.

Идеи опросников для беременных женщин многократно озвучивались, но для оценки состояния исследователями предлагался метод дерева решений [1]. Такая оценка является довольно точной, но из-за сложности построения дерева решений реализация подобных проектов чаще всего откладывалась. Кроме того, подобный метод довольно сложен и в усовершенствовании, ведь для внесения изменений необходимо перестраивать значительную часть дерева.

Альтернативой регрессионному дереву может стать семантический чат-бот. Основное его отличие от предлагаемых ранее «опросников» для беременных женщин – неформальный стиль общения с пациенткой. Во время взаимодействия с таким чат-ботом складывается ощущение общения с реальным человеком, что положительно влияет на психическое и эмоциональное здоровье матери. Таким образом, у женщины появляется возможность отклониться от формализованных в обычных опросниках ответов, если этого требует ситуация, что значительно повысит точность оценки её состояния. Кроме этого, обратная связь от врача позволит системе чат-бота проанализировать ответы женщины и оценивать её состояние

опираясь на индивидуальные особенности. Так, например, при оценке какого-то параметра женщина может описать симптомы, не характерные для её реального состояния, что связано с её эмоциональным здоровьем или хроническими заболеваниями. В дальнейшем при формировании заключения системой будет учитываться опыт, что значительно повысит точность определения патологий беременности. Из этого следует, что семантический чат-бот подстраивается под каждую пациентку, благодаря чему его эффективность становится выше, чем у классического опросника.

Ещё одним преимуществом использования семантического чат-бота является непрерывное обучение программного обеспечения, благодаря чему нет необходимости тратить значительные ресурсы на усовершенствование информационной системы. Благодаря этому становится возможным постоянное пополнение базы симптомов и их анализ на предмет выявления патологий беременности.

Таким образом, предложенное решение для оперативного выявления патологий беременности имеет ряд преимуществ перед обычными опросниками, которые заключаются как в более комфортной среде для пациентки, так и в непрерывном совершенствовании системы.

Библиографический список

1. Корнеева, И. П., Крамарь, К. А., Семенова, Е. А., Сергеев, А. М., & Юлдашев, З. М. (2021). Аппаратно-программный комплекс для удаленного мониторинга и контроля состояния беременных женщин. Информационно-управляющие системы, (6), 21-30. <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2021-6-21-30>
2. Mrs. Rashmi Dharwadkar, Dr.Mrs. Neeta A. Deshpande "A Medical ChatBot". International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT) V60(1):41-45 June 2018. ISSN:2231-2803. www.ijcttjournal.org. Published by Seventh Sense Research Grou

УДК 615.47: 004.31

РЕАЛИЗАЦИЯ СЛОЖНЫХ ДИСКРЕТНЫХ ОТСЧЕТОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Ю.А. Булгаков, А.А. Михеев

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрены особенности формирования в режиме реального времени сложных дискретных отсчетов измерительных сигналов при вариабельности периода дискретизации. Приведена блок-схема алгоритма формирования отсчетов.

Ключевые слова: дрейф изолинии, сложные дискретные отсчеты, вариабельность периода дискретизации, микроконтроллер.

REAL-TIME IMPLEMENTATION OF COMPLEX DISCRETE SAMPLES

Yu.A. Bulgakov, A.A. Mikheev

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The features of forming complex discrete samples of measuring signals in real time with the variability of the sampling period have been considered. A block diagram of the sample formation algorithm has been given.

Key words: *isoline drift, complex discrete samples, sampling period variability, microcontroller.*

Одной из задач обработки электрокардосигналов (ЭКС) является выделение сигнала низкочастотной помехи (дрейфа изолинии) из аддитивной смеси полезного сигнала и помехи. Для выделения истинного сигнала дрейфа изолинии целесообразно дискретные отсчеты этого сигнала брать на ТР-интервале ЭКС, а для обеспечения возможности восстанавливать сигнал дрейфа изолинии с расширенным частотным диапазоном, не увеличивая частоту дискретизации, определяемую частотой сердечных сокращений, следует преобразовывать эти одиночные (простые) отсчеты в группу отсчетов, т.е. в сложные дискретные отсчеты (СДО) [1]

Так как ритму сердца физиологически свойственна вариабельность, это необходимо учитывать при формировании сложных дискретных отсчетов, чтобы реализовать их положительные свойства. Теоретический анализ сложных дискретных отсчетов при вариабельности периода дискретизации рассмотрен в [2].

Формирование последовательности СДО в реальном времени может быть выполнено на микроконтроллере, который будет исполнять программу, реализующую алгоритм формирования СДО, представленный на рисунке 1.

Из ряда рассмотренных вариантов в качестве отладочной платы была выбрана Arduino Nano 3.0 с микроконтроллером ATmega328, характеристики которого позволяют реализовать формирование СДО дрейфа изолинии ЭКС в режиме реального времени.

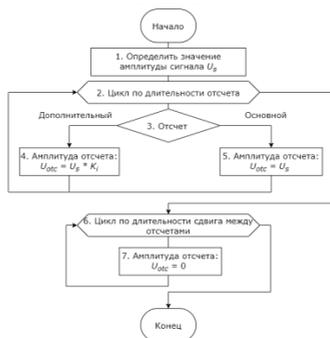


Рис. 1 – Блок-схема алгоритма формирования сложных дискретных отсчетов

Для выделения дрейфа изолинии с расширенным частотным диапазоном в спектре последовательности СДО сигнала дрейфа изолинии достаточно подавить составляющие первой спектральной зоны: Fd , $Fd+Fm$, $Fd - Fm$, где Fd – частота дискретизации, равная частоте сердечных сокращений, Fm – частота процесса, модулирующего частоту сердечных сокращений. В этом случае при формировании СДО для подавления первой спектральной зоны требуется три пары дополнительных отсчетов [3], масштабные коэффициенты которых определяются из решения системы трех уравнений с заданными сдвигами ($j=1, 2, 3$):

$$\begin{cases} 1 + 2 \sum_{j=1}^3 K_j \cos(2\pi Fd \tau_{sj}) = 0 \\ 1 + 2 \sum_{j=1}^3 K_j \cos[2\pi(Fd - Fm)\tau_{sj}] = 0 \\ 1 + 2 \sum_{j=1}^3 K_j \cos[2\pi(Fd + Fm)\tau_{sj}] = 0 \end{cases} \quad (1)$$

С использованием результатов решения (1) микроконтроллер ATmega328 на отладочной плате Arduino Nano 3.0 был запрограммирован на реализацию разработанного алгоритма (рис. 1). Использовались следующие исходные данные: $Fd = 1$ отс/с, $Fm = 0.15$ Гц.

Результат выполнения программы приведен на рисунке 2.

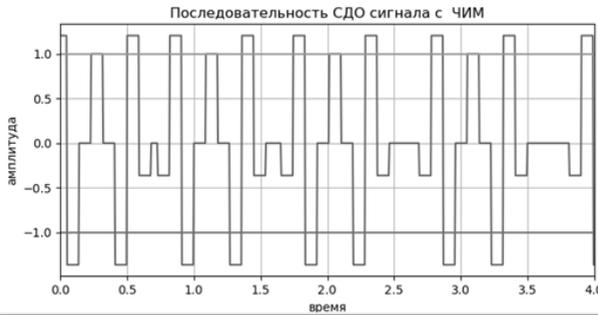


Рис. 2 – Сформированная последовательность СДО

Спектральный анализ сформированной последовательности СДО показал, что в спектре этой последовательности отсутствуют (подавлены) все составляющие первой спектральной зоны (рисунок 3).

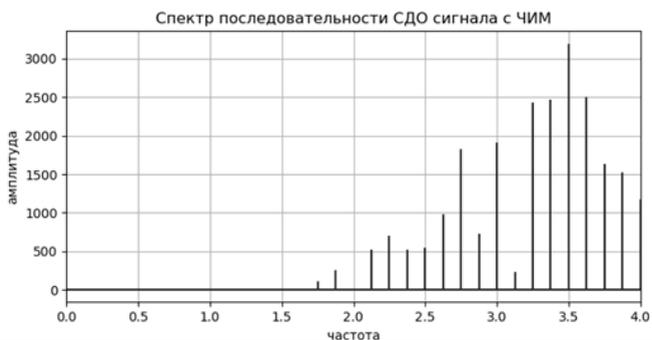


Рис. 3 – Спектр полученной последовательности

Библиографический список

1. Михеев А.А., Нечаев Г.И. Способ устранения дрейфа изолинии электрокардиосигнала и устройство для его осуществления. Патент РФ 2251968. МПК А61В5/0402. Опубл. 20.05.2005. Бюлл. № 14.
2. Булгаков Ю.А., Витязева Т.А., Михеев А.А. Сложные дискретные отсчеты в задачах обработки электрокардиосигнала // Биомедицинская радиоэлектроника. 2021. Т. 24. № 4. С. 76–82
3. Yu. Bulgakov, T. Vitiazeva and A. Mikheev Research of the Spectrum of a Complex Discrete Samples with Sample Rate Variability/ 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO – 2021) Proceedings. Budva, Montenegro. IEEE Catalog Number: CFP2039T-ART. pp. 323-326.

УДК 57.087

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛОСА ЧЕЛОВЕКА В ПРОЦЕССЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А.А. Кормилицин, С.А. Калинина, А.Г. Меркулова

Научный руководитель – Глухов Д.В., д.м.н., доцент, г.н.с.

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», г. Москва

Рассмотрены принципы извлечения спектральных признаков из голосового сигнала. Исследованы корреляции психофизиологических показателей водителей до и после рабочей смены со спектральными характеристиками голоса.

Ключевые слова: *утомление, психофизиология, голос, акустический спектр, водители, автомобильный транспорт.*

THE STUDY OF THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE HUMAN VOICE DURING PROFESSIONAL ACTIVITIES

A.A. Kormilitsin, S.A. Kalinina, A.G. Merkulova

Academic advisor – Glukhov D.V., D.Sc. (Medicine), Assoc. Prof., principal researcher

FSBSI “Izmerov Research Institute of Occupational Health”, Moscow

The principles of extraction of spectral features from the voice signal are considered. The correlations of psychophysiological indicators of drivers before and after a work shift with spectral characteristics of the voice are investigated.

Key words: *fatigue, psychophysiology, voice, acoustic spectrum, drivers, road transport.*

В настоящее время активно развивается направление мониторинга функционального состояния работников при помощи неинвазивных, бесконтактных и не требующих дополнительного сложного оборудования методов. Одним из таких методов является анализ голоса человека.

Процесс оценки состояния человека по голосу можно представить в виде трёх основных подзадач:

- 1) сначала происходит выделение сегментов с речью и без нее;
- 2) далее производится снижение размерности сигнала путем выделения его характеристик [1-3];
- 3) в заключении осуществляется принятие решения о классификации состояния человека на основе выделенных на предыдущем этапе характеристик.

В данной работе основной акцент сделан на способах выделения спектральных характеристик речевого сигнала.

Исследования были проведены на выборке из 19 водителей автомобильного транспорта. Возраст испытуемых составил $50,2 \pm 7,1$ лет, водительский стаж $26,1 \pm 8,7$ лет. Методика исследования заключалась в регистрации психофизиологических характеристик и голоса водителей до и после рабочей смены. Длительность смены составляла $12,9 \pm 5,2$ часов.

Оценка функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) проводилась при помощи простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР; 35 стимулов) и реакции на движущийся объект (РДО; с двунаправленным движением стрелки) с использованием прибора УПФТ-1/30 «Психофизиолог» (ООО НПКФ «Медиком МТД», Россия); корректурной пробы Ландольта, критической частоты слияния и различения световых мельканий для каждого глаза (КЧСМ, КЧРМ) с использованием прибора «НС-Психотест» (ООО «Нейрософт», Россия).

Для записи голоса использовался смартфон Samsung Galaxy A7 (2016) SM-A710F с установленным приложением “Smart Recorder”. Записи производились на расстоянии 20-30 см от рта испытуемого и сохранялись в формате “Wave” (PCM) с частотой дискретизации 44100 Гц и глубиной

кодирования 16 бит. Испытуемые вслух считали три раза от 1 до 10, затем произносили фонетически сбалансированный блок из 10 предложений ГОСТ 16600-72 (приложение 9, тест 1).

Для анализа ПЗМР использовались среднее время реакции (ПЗМР МО) и суммарное число ошибок (ПЗМР ЕР). Для анализа РДО использовались коэффициент баланса (РДО КБ) и СКО отклонений реакции от идеальной (РДО СКО). Для анализа пробы Ландольта использовались показатели общего числа просмотренных колец за тест (Qt), общее число ошибок (Nt), продуктивность работы (Pt), скорость переработки информации (S), скорость переработки информации в минуту (Smin), коэффициент выносливости (Kг), точность работы (At), коэффициент точности (Та), амплитуда колебаний продуктивности (ΔP), амплитуда колебаний точности (ΔA) и показатель надежности.

Для обработки аудиозаписей использовался программный пакет MATLAB R2022b с дополнительным модулем Audio Toolbox. При анализе каждая аудиозапись разбивалась на неперекрывающиеся окна длительностью 25 мс. Предварительно осуществлялось выделение участков с вокализованной речью. Вокализованные участки определялись по наличию речи (вероятность наличия речи $>0,99$ по оценке функции voiceActivityDetector) и наличию выраженной частоты основного тона в диапазоне 75...210 Гц. Для полученных участков рассчитывались средние значения и СКО по всей аудиозаписи следующих 93 показателей: по 13 базовых, дельта и дельта-дельта мел-частотных кепстральных коэффициентов (МЧКК; MFCC); по 13 базовых, дельта и дельта-дельта гамматоновых кепстральных коэффициентов (ГТКК; GTCC); спектральный центроид (spectral centroid); крест-фактор (spectral crest); спектральное уменьшение (spectral decrease); спектральная энтропия (spectral entropy); спектральная плоскостность (spectral flatness); спектральный поток (spectral flux); эксцесс спектра (spectral kurtosis); спектральный спад (spectral rolloff point); коэффициент асимметрии спектра (spectral skewness); спектральный наклон (spectral slope); спектральный разброс (spectral spread); частота основного тона (ЧОТ; pitch); коэффициент гармоник (harmonic ratio); частота пересечений нуля (zero-crossing rate); кратковременная энергия (short-time energy).

Статистическая обработка данных проводилась в программе IBM SPSS Statistics 26. Сначала рассчитывались разности показателей в конце и начале рабочей смены, затем проверялась нормальность полученных распределений при помощи теста Колмогорова-Смирнова. В случае нормальности распределений показателей использовался одновыборочный t-критерий Стьюдента для проверки равенства среднего значения нулю, в противном случае – одновыборочный критерий знаковых рангов Уилкоксона. Были выявлены статистически значимые различия в следующих показателях голоса:

- уменьшение средних значений 2-ого базового ($t(18)=-2,586, p=0,019$),

дельта ($t(18)=-2,586$, $p=0,019$) и дельта-дельта ($t(18)=-2,586$, $p=0,019$) МЧКК, 2-ого базового ($t(18)=-2,177$, $p=-0,043$), дельта ($t(18)=-2,177$, $p=-0,043$) и дельта-дельта ($t(18)=-2,177$, $p=-0,043$) ГтКК;

- увеличение среднего значения ЧОТ ($t(18)=3,093$, $p=0,006$);

- увеличение СКО 10-ого базового ($t(18)=-2,555$, $p=0,020$), дельта ($t(18)=-2,555$, $p=0,020$) и дельта-дельта ($t(18)=-2,555$, $p=0,020$) МЧКК, спектрального центроида ($t(18)=2,162$, $p=0,044$), спектрального уменьшения ($t(18)=2,762$, $p=0,013$), спектральной энтропии ($t(18)=2,566$, $p=0,019$) и спектрального спада ($t(18)=2,215$, $p=0,040$);

- уменьшение СКО 4-ого базового ($t(18)=-2,831$, $p=0,011$), дельта ($t(18)=-2,831$, $p=0,011$) и дельта-дельта ($t(18)=-2,831$, $p=0,011$) МЧКК.

Поиск статистически значимых различий в психофизиологических показателях выявил уменьшение ПЗМР МО ($t(18)=-2,485$, $p=0,023$) и увеличение Qt ($t(16)=3,942$, $p=0,001$), Pt ($t(16)=3,447$, $p=0,003$), S ($t(16)=3,911$, $p=0,001$), Smin ($t(16)=2,983$, $p=0,009$), КЧСМ (для левого глаза: $t(16)=3,101$, $p=0,007$; для правого: $w(17)=3,267$, $p=0,001$) и КЧРМ (для левого: $w(17)=3,519$, $p=0,000$; для правого: $t(16)=2,595$, $p=0,020$). Таким образом, наблюдается улучшение состояния ЦНС за счет психологического состояния включенности в деятельность.

Далее был произведен поиск корреляций между изменениями до и после смены психофизиологических характеристик и характеристик голоса. Были получены следующие статистически значимые корреляции:

- СКО спектрального уменьшения – Smin (Пирсон, $r=0,557$, $p=0,020$);

- СКО спектрального центроида – Qt (Спирмен, $r=-0,490$, $p=0,046$);

- СКО спектрального центроида – S (Спирмен, $r=-0,531$, $p=0,028$);

- СКО спектрального центроида – Smin (Спирмен, $r=-0,618$, $p=0,008$).

Таким образом, исследование показало наличие корреляций между показателями голоса и функционального состояния ЦНС, что говорит о перспективности дальнейших исследований в данной области.

Библиографический список

1. Картавенко М. В. Об использовании акустических характеристик речи для диагностики психических состояний человека // Известия ЮФУ. Технические науки. 2005. №5. С. 164–180.
2. Фролов М.В., Милованова Г.Б. Особенности контроля состояния человека-оператора по параметрам основного тона и спектра речи // Физиология человека. 2009. № 35(2). С. 136-138.
3. Гуртуева И.А., Бжихатлов К.Ч. Аналитический обзор и классификация методов выделения признаков акустического сигнала в речевых системах // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 1(105). С. 41–58.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРВИСОВ ОНЛАЙН-ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ НУЖД МЕДИЦИНСКОЙ СТАТИСТИКИ

Т.С. Ряжских

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Минздрава РФ, г. Рязань

В статье рассматривается проблема возможной недостоверности результата при проведении анкетирования с использованием бумажных носителей. Анализируются методики сбора данных по средствам онлайн-сервисов и на бумаге и описываются принципиальные различия между ними. Экспериментальным путём доказывается целесообразность использования сервисов онлайн-тестирования для нужд медицинской статистики. Приводятся результаты опроса, призванного выявить уровень стресса среди студентов РязГМУ.

Ключевые слова: онлайн-сервисы, статистика, медицина, анкетирование.

USE OF ONLINE TESTING SERVICES FOR THE NEEDS OF MEDICAL STATISTICS

T.S. Ryazhskikh

Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlova of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ryazan

The article deals with the problem of possible unreliability of the result when conducting a survey using paper media. The methods of data collection by means of online services and on paper are analyzed and the fundamental differences between them are described. Experimentally, the expediency of using online testing services for the needs of medical statistics is proved. The results of a survey designed to identify the level of stress among students of the Ryazan State Medical University are given.

Key words: online services, statistics, medicine, questioning.

При проведении анкетирования с целью сбора медицинских данных возникают определённые трудности при использовании бумажных носителей, как то: длительность и трудоёмкость подсчёта результата, высокая вероятность ошибок при подсчёте, экологическая составляющая вопроса.

Была сформулирована гипотеза, что использование цифровых сервисов тестирования с возможностью настройки под нужды конкретного пользователя позволяет решить выдвинутую проблему.

С целью подтверждения гипотезы было решено провести эксперимент. Разработали анкету, позволяющую оценить уровень эмоционального напряжения студентов университета во время первых контрольных мероприятий. Первый блок вопросов включал 5 утверждений. Каждому

респонденту предлагалось ответить, насколько каждое утверждение соответствовало его состоянию в обозначенный момент обучения. Второй блок анкеты включал 7 утверждений, с которыми предлагалось либо согласиться, либо отклонить.

Разработанный опросник решено было разместить на информационном сервисе «Google Формы». Это многофункциональный онлайн-инструмент, позволяющий создавать формы для сбора данных, онлайн-тестирования и голосования. В нашем случае данный портал будет являться аналогом медицинской базы данных [1-3].

Участие в опросе приняли 110 обучающихся университета разных курсов и факультетов. Из них 100 человек отвечали на вопросы онлайн, используя сервис «Google Формы», а 10 человек составляли контрольную группу и использовали для ответов бумажные носители.

После проведения анкетирования в обеих группах оказалось, что стресс, постоянно имеющийся в жизни студентов РязГМУ, усиливается во время проведения контрольных работ во многом из-за опасений получения неудовлетворительной оценки. Однако выяснилось, что большинство опрошенных практикуют различные методики борьбы с переживаниями и уверены, что благодаря этому уровень их тревоги перед следующими точками контроля не повлияет на самочувствие и взаимоотношения с окружающими.

После проведения опроса поступившая информация была обработана. Сведения, полученные в ходе онлайн-анкетирования, можно было анализировать сразу по завершении опроса. Данные после внесения в систему представляются в табличной форме и наглядно в виде диаграмм, при этом вероятность ошибок минимальна. Для того чтобы подсчитать ответы студентов контрольной группы понадобилось определённое время, при этом учитывалась вероятной возможной ошибки.

Таким образом, в ходе эксперимента было установлено, что использование электронных систем анкетирования с целью сбора медицинских данных оправдано и более рационально по сравнению с классическими бумажными опросниками. Это обеспечивается простотой введения информации и наглядностью её представления, к тому же многие из онлайн-сервисов имеют встроенные алгоритмы глубокого анализа данных. Высокая скорость обработки и минимальный риск ошибочного результата на выходе обеспечивается минимальным влиянием человеческого фактора на процесс [4].

Библиографический список

1. Авачева Т.Г., Моисеева Е.А., Тресков В.Г. Информатизация здравоохранения и внедрение МИС в учебный процесс медицинского вуза // В книге: Материалы ежегодной научной конференции Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова. 2016. С. 141-144.

2. Авачёва Т.Г., Дмитриева М.Н., Кривушин А.А. Развитие навыков исследовательской деятельности студентов медицинского вуза при обучении дисциплин физико-математического профиля //Школа будущего. 2016. № 5. С. 91-99.
3. Asfandiyarova N.S., Dashkevich O.V., Doroshina N.V., Suchkova E.I., Demidova L.A. An approach to the medical-type data multiobjective analysis // Communications in Computer and Information Science. 2021. Т. 1395. С. 454-464.
4. Асфандиярова Н.С., Филиппов Е.В., Дашкевич О.В., Дорошина Н.В., Сучкова Е.И., Shehtmester L.I. Преимущества и недостатки режима самоизоляции в период первой волны коронавирусной инфекции для пациентов с полиморбидной патологией // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2021. Т. 29. № 3. С. 363-368.

УДК 004.946

УНИКАЛЬНЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ОБУЧАЮЩИЕ VR-ТРЕНАЖЕРЫ

М.А. Грачев, Н.Л. Аношкина, Ю.Н. Батищева.

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г.
Липецк

В данной статье рассмотрена практическая реализация технологии виртуальной реальности в современной медицине на примере как зарубежных, так и отечественных разработок, применение ее для обучения медицинского персонала, их вклад в решение проблему принятия решений в хирургии.

Ключевые слова: *принятие решений, виртуальная реальность, медицина, VR, Surgical Theater, Level EX, MedVR, практическое обучение.*

UNIQUE MEDICAL TRAINING VR-SIMULATORS

M.A. Grachev, N.L. Anoshkin, J.N. Batishcheva.

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan
Lipetsk State Technical University, Lipetsk

This article discusses the practical implementation of virtual reality technology in modern medicine on the example of both foreign and domestic developments, it's application for training medical personnel, their contribution to solving the problem of decision making in surgery.

Keywords: *making decisions, virtual reality, medicine, VR, Surgical Theater, Level EX, MedVR, practical training.*

В любой специальности важной и очень сложной задачей является принятие аргументированного решения. В медицине это проявляется особенно остро, необходимо выбрать один из нескольких неочевидных вариантов решения задачи в условиях дефицита времени. Эта и без того сложная задача, усложняется тем, что специалист может не иметь практического опыта необходимого для решения данной задачи. А значит, риск допустить врачебную ошибку возрастает.

Применение технологии виртуальной реальности позволяют существенно упростить эту задачу, снизить количество совершаемых врачебных ошибок. Например, виртуальные модели, создаваемые Израильской компанией Surgical Theater, позволяют создать более полную картину о предстоящей операции. Данные модели создаются посредством наложения результатов МРТ и контрастного КТ в единую трехмерную модель. Она содержит информацию об анатомическом строении участка, который необходимо прооперировать. Врач-хирург может обращаться к ней в любой момент операции, наблюдая ее с помощью VR-шлема, например Oculus Rift, для детального рассмотрения интересующего его сосуда или участка костного покрова. У данной компании имеется обширная база данных с трехмерными моделями, в том числе и очень редкими – модель черепов сиамских близнецов (рис. 1), сросшихся друг к другу головами, в мире проводилось всего 20 подобных операций. Используя эти модели можно как самому осуществлять операцию, так и использовать для обучения как подкрепление к лекционному материалу. Также, компания предоставляет видеозаписи редких операций от глаз врача-хирурга с его комментариями.

Аналогичный подход к обучению реализуется с помощью виртуальных моделей Level EX от компании Brainlab, они также основаны на результате реальных операций. Основное их отличие в том, что благодаря мультиплатформенности, их можно воспроизводить на обычном мобильном телефоне. Благодаря большому сообществу пользователей, от рядовых врачей до специалистов мирового уровня, в Level EX имеются обучающие материалы, тесты и мини-игры, цель которых составить правильный алгоритм операции на основе результатов МРТ, КТ, анализов. Несмотря на обширный функционал, данный программный пакет доступен каждому.

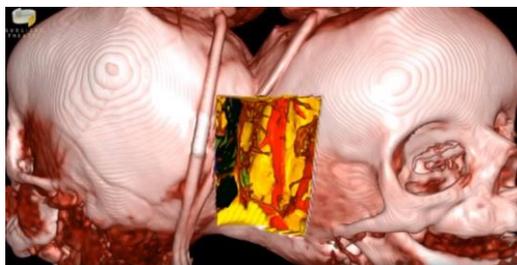


Рис. 1 – Трехмерная модель черепов сиамских близнецов

Похожие разработки есть и у отечественных разработчиков. Некоторые из них были представлены на VII Всероссийском форуме обучающихся медицине и фармации (июль 2022 год). Самым примечательным из них стал VR-тренажер MedVR. Задача данного тренажера дать практические навыки в оказании неотложной помощи при различных сценариях. Есть сценарии как для специалистов с высшим образованием (врача-хирурга), так и для специалистов со средним специальным образованием. Сценарии для врача-хирурга представляют различные клинические сценарии, где необходимо оказать неотложную хирургическую помощь. В некоторых случаях предусмотрен предоперационная подготовка: осмотр пациента, выбор инструментария для операции и его дезинфекция. Сценарии для специалистов со средним специальным образованием – оказание скорой и неотложной помощи в санитарном автомобиле.

Преимущество подобных тренажеров, в сравнении с традиционными методами обучения, состоит в доступности. Все необходимые для обучения действия, будь то ознакомление с моделью цирроза печени (с возможностью заглянуть внутрь органа), так и проведением сложной и редкой операции из любой точки мира, даже у себя дома. Дальнейшей стадией развития VR-тренажеров – это создание обучающих материалов для новейших типов хирургических установок, например для роботизированного хирургического комплекса Da Vinci Si с внедрением API прямого управления, позволяющим использовать джостик комплекса для осуществления манипуляций внутри VR-тренажера и наоборот.

Библиографический список

1. Surgical Theater, сайт компании-производителя [Электронный ресурс]. – URL: <https://surgicaltheater.com> – (дата обращения 29.10.2022).
2. Brainlab Level Ex [Электронный ресурс] - URL: <https://www.levelx.com> – (дата обращения 29.10.2022).
3. Итоги VII Всероссийского форума обучающихся медицине и фармации, подведенные Министерством Здравоохранения Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <https://edu.rosminzdrav.ru/news/novosti/news/unikalnye-vr-trenazhery-po-okazaniyu-neotlozhnoi-medicin/> – (дата обращения 29.10.2022).
4. VR-тренажер MedVR для специалистов с высшим образованием [Электронный ресурс]. – URL: <https://nmfo-vo.edu.rosminzdrav.ru/#/user-account/view-iom/d3baba44-77ac-1365-f432-bb5360e9518f> (дата обращения 31.10.2022).
5. VR-тренажер MedVR для специалистов со средним специальным образованием [Электронный ресурс]. – URL: <https://nmfo-spo.edu.rosminzdrav.ru/#/user-account/view-iom/e5445f63-f6e8-5484-8270-0451ff56c620> (дата обращения 31.10.2022).

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ БЕРЕМЕННОЙ ЖЕНЩИНЫ

В.М. Гущин, И.П. Корнеева

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина)», Санкт-Петербург

В статье рассмотрены вопросы разработки прибора для мониторинга состояния здоровья беременной женщины. Предложена функциональная схема устройства, реализующего регистрацию биохимических показателей проб крови и мочи пациентки.

Ключевые слова: беременная женщина, фотометрия, удаленный мониторинг, общий анализ крови, общий анализ мочи.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR MONITORING THE HEALTH OF A PREGNANT WOMAN

V.M. Gushchin, I.P. Korneeva

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg

The article deals with the development of a device for monitoring the health status of a pregnant woman. A functional diagram of a device that implements the registration of biochemical parameters of blood and urine samples of a patient is proposed.

Key words: pregnant women, photometry, remote monitoring, general blood test, general urine test.

В последние годы возросла актуальность и серьезность вопроса мониторинга состояния беременных женщин ввиду невозможности регулярного их посещения лечебных учреждений, к примеру, из-за распространения опасных инфекционных заболеваний, таких как COVID-19 в 2020 году. Рост числа осложнений протекания беременности и, как следствие, смертности пациенток стал определяющим фактором в рассмотрении вопросов удаленного мониторинга состояния здоровья беременных женщин. При этом не будет необходимости использования специализированного лабораторного оборудования и реактивов, а также присутствия врача, имеющего соответствующую квалификацию, так как процедура забора и анализа биопробы может проводиться самой пациенткой с использованием тест-полосок и простых в освоении портативных анализаторов [1].

Из существующих вариантов приборов для контроля состояния беременной женщины можно выделить множество портативных биохимических анализаторов, и в некоторых предусмотрена передача полученной информации через приложение на смартфон пациентки или

врача, однако их ключевым недостатком является разделенность устройств, участвующих в анализе, а значит и разделение выходных данных.

Предлагаемый вариант прибора для мониторинга состояния здоровья беременной женщины представлен в едином корпусе с возможностью передачи результатов обследования по Bluetooth на смартфон пользователя. Измерение проводится с помощью фотометрического метода. Основными преимуществами представленного прибора являются:

- Единая конструкция полифункционального монитора, позволяющая не прибегать к использованию большого количества приборов, рассчитанных под конкретные биохимические измерения;
- Точность, сравнимая с результатами анализа в лаборатории;
- Быстрое получение комплексной информации о состоянии здоровья беременной женщины по ряду показателей биопроб.

Функциональная схема прибора для мониторинга состояния здоровья беременной женщины путем регистрации биохимических показателей проб мочи и крови пациентки, представлена на рисунке 1.

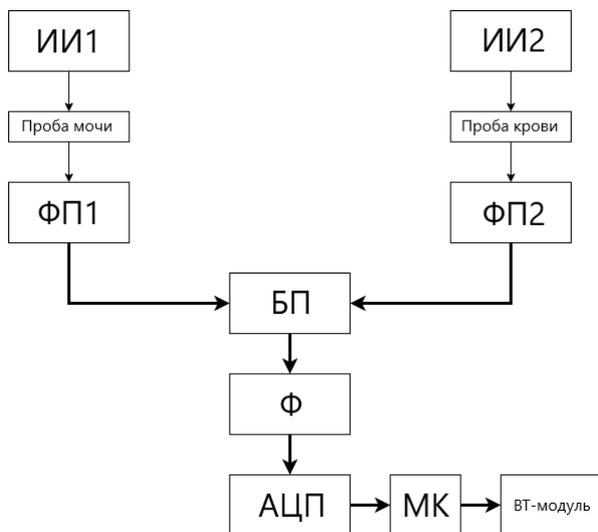


Рис. 1 – Функциональная схема биохимического анализатора

Условные обозначения:

- ИИ1, ИИ2 – источники излучения;
- ФП1, ФП2 – фотоприемники;
- БП – блок преобразования;
- Ф – фильтр;
- АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;
- МК – микроконтроллер.

При проведении измерений кювета с биопробой, т.е. пробой мочи или крови облучается источником излучения, при этом длина волны излучения определяется исходя из регистрируемого в данный момент показателя и, так как все показатели снимаются одновременно, источник излучения должен предусматривать изменение параметров излучения, например, системой подстановки разных светофильтров. Проходя через биопробу, различные вещества в ней по-разному поглощают свет и, согласно закону Бугера-Ламберта-Бера, количество поглощенного веществом света (энергии) связано с концентрацией этого вещества в пробе. Например, максимумы спектра поглощения гемоглобина с присоединённым кислородом HbO_2 в крови, находятся на длинах волн $\lambda_1 = 415$ нм, $\lambda_2 = 542$ нм, $\lambda_3 = 577$ нм, а максимум спектра поглощения билирубина в моче лежит на длине волны $\lambda_4 = 460$ нм [2].

После прохождения через кювету с исследуемым веществом, световой поток улавливается фотоприемником, например, фотодиодом. Далее электрический сигнал идет в блок преобразования, где проводится разделение на отдельные составляющие (регистрируемые показатели), а также первичная фильтрация и усиление. После этого, для повышения точности, сигналы проходят еще один этап фильтрации. Далее для подсчета численных значений показателей используется микроконтроллер, на входы которого подаются уже оцифрованные сигналы.

Результаты измерений в дальнейшем могут быть переданы на смартфон пациентки или лечащего врача, а связь прибора со смартфоном осуществляется через Bluetooth-модуль.

Библиографический список

1. Корнеева И. П., Крамарь К. А., Семенова Е. А., Сергеев А. М., Юлдашев З. М. Аппаратно-программный комплекс для удаленного мониторинга и контроля состояния беременных женщин. Информационно-управляющие системы, 2021, № 6, с. 21–30.
2. Н. Колтовой. Спектральные методы в медицине. Фотоника, 2009, №6, с. 12-16.

УДК 004.896

ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНЕ

Т.Г. Авачева, М.А. Шмонова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный медицинский
университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения
Российской Федерации, г. Рязань

Рассмотрены основные существующие на данный момент сферы

применения искусственного интеллекта и систем поддержки принятия врачебных решений в медицине. Представлены перспективы их дальнейшего развития и внедрения.

Ключевые слова: *медицинские информационные системы (МИС), телемедицина, искусственный интеллект (ИИ) и системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР), медицинская робототехника, виртуальная и дополненная реальности в медицине и медицинском образовании, мобильное здравоохранение, цифровая трансформация здравоохранения.*

AREAS OF USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE

T.G. Avacheva, M.A. Shmonova
Ryazan State Medical University, Ryazan

The main current areas of application of artificial intelligence and medical decision support systems in medicine are considered. Prospects for their further development and implementation are presented.

Key words: *medical information systems (MIS), telemedicine, artificial intelligence (AI) and medical decision support systems (MDSS), medical robotics, virtual and augmented reality in medicine and medical education, mobile healthcare, digital transformation of healthcare.*

На данный момент в сфере здравоохранения интенсивно идёт цифровая трансформация отрасли. Уже во всех лечебно-профилактических учреждениях применяются медицинские информационные системы для автоматизации рутинных операций [1, 2, 9]. Для организации консультаций населения, консилиумов и конференций используются телемедицинские технологии [3]. Медицинские робототехнические системы давно стали привычным технологическим оборудованием хирургических операций. Виртуальная и дополненная реальности эффективно применяется в медицинском образовании [4, 5]. Мобильное здравоохранение широко используется для мониторинга состояния здоровья пациентов. Также достаточно быстро развиваются технологии искусственного интеллекта (ИИ) в медицине и системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР).

Цель нашей работы заключалась в том, чтобы ответить на вопрос: в каких областях использование ИИ в медицине наиболее результативно. При анализе современной ситуации нами выявлено, что на данный момент несмотря на большое количество различных разработок в области ИИ и СППВР, такого же повсеместного использования как, например, МИС технологии искусственного интеллекта в медицинской практике не получили – есть хорошие решения, которые так и остаются на уровне стартапов или используются локально [6, 7, 8]. Например, данные компании «РТК Радиология» о 47 регионах РФ позволяют говорить о том, что использование ИИ в медицине составляет менее 1 % от общего числа случаев диагностики

и/или лечения.

Рассмотрим основные существующие на данный момент сферы применения ИИ и СППВР в медицине.

1. Один из самых популярных сценариев на сегодняшний день – интеграция голосовых помощников на базе ИИ в диалоговые сценарии при общении с пациентами. В основном такие сценарии связаны с административными задачами (запись на прием, уточнение времени работы учреждения или график конкретного врача и т.д.). Внедрение речевых технологий помогают клиникам избежать человеческого фактора при общении с пациентом, сэкономить за счет сокращения телефонных линий, принимать звонки в любое время суток и снизить скорость ожидания ответа. Однако пока не все сценарии реализуют с помощью речевых технологий – дело не только в доверии, но и в том, что существуют правовые ограничения.

2. Медицинская диагностика – область, где прочно закрепилось внедрение технологии на базе ИИ. Консалтинговая компания Frost & Sullivan подсчитала, что «умные системы» способны повысить точность принимаемых медицинских решений на 30-40%, при этом снизить расходы клиник на медобслуживание пациентов.

3. С помощью технологий ИИ проводят микроскопический анализ в лабораториях, изучают эффективность медицинских препаратов, разрабатывают анатомические протезы, исследуют вирусную природу, в том числе для разработки вакцин. Однако таких примеров по использованию ИИ в промышленной эксплуатации до сих пор немного.

Таким образом, ИИ может помочь на каждом этапе пути пациента, от обращения и сбора анамнеза до лечения и контроля результатов.

Библиографический список

1. Авачева Т.Г. Обучение работе в медицинских информационных системах как средство развития профессиональных навыков медицинских работников / Т.Г. Авачева, М.Н. Дмитриева, Н.В. Дорошина // Инновационные технологии в медицине: взгляд молодого специалиста: Материалы III Всероссийской научной конференции молодых специалистов, аспирантов, ординаторов, Рязань, 14–15 сентября 2017 года. – Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2017. – С. 179-181.
2. Милованова О.А., Авачева Т.Г. Внедрение медицинских информационных систем в образовательный процесс университета // Материалы II Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием "Естественнонаучные основы медико-биологических знаний", Рязань, 29–30 апреля 2019 года. – Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2019. – С. 256-258.
3. Милованова О.А. Изучение основ телемедицинских технологий как средство формирования профессиональных компетенций в медицинском вузе / О.А. Милованова, Т.Г. Авачева // Актуальные проблемы физики и

- технологии в образовании, науке и производстве : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 120-летию Александра Васильевича Пёрышкина, 24–25 марта 2022 года / под ред. В. А. Степанова, О. В. Кузнецовой. — Рязань : Ряз. гос. ун-т имени С. А. Есенина, 2022. — С. 190–192.
4. Фаустова А.Г. Психологическое сопровождение процесса симуляционного обучения в медицине / А.Г. Фаустова // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2017. Т. 5. № 1. — С. 42–51.
 5. Шмонова М.А. Использование дистанционных технологий для развития исследовательской деятельности студентов медицинских вузов // Материалы III Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Естественнонаучные основы медико-биологических знаний» (Рязань, 29 апреля 2021 г.) / ред. кол.: Т.Г. Авачева, А.В. Ельцов, А.А. Кривушин; ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России. — Рязань: ОТСиОП, 2021. — С 163–166.
 6. Шмонова, М.А. Контекстные математические задачи как средство развития исследовательской деятельности студентов медицинских специальностей в вузе : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 [Текст] / Шмонова Марина Александровна. — Орёл, 2019. — 223 с.
 7. Шмонова, М.А. Контекстные математические задачи как средство развития исследовательской деятельности студентов медицинских специальностей в вузе: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Шмонова Марина Александровна. — Орёл, 2019. — 28 с.
 8. Avacheva T.G., Dmitrieva M.N., Shmonova M.A., Doroshina N.V., Krivushin A.A. Integration of natural scientific disciplines by means of hierarchical complexes of contextual problems as a method of forming the research competence of students of medical universities // 5th International multidisciplinary scientific conference on social sciences & arts SGEM 2018, 26 August – 01 September, 2018 Albena, Bulgaria: conference proceedings - Science and society, Volume V, Albena, Bulgaria, pp. 447–452.
 9. Avacheva T.G. Expanding the Capabilities of Medical Information Systems to Automate the Document Flow of Health Care Institutions / T.G. Avacheva, S.L. Yablochnikov, O.A. Milovanova // Proceedings of the 21st International Conference on Information Technology for Practice, Ostrava, 17–18 октября 2018 года. — Ostrava: Technical University Ostrava, 2018. — P. 7–14.

УДК 519.234.3

**НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПРОГРАММЕ STATISTICA.
СРАВНЕНИЕ ДВУХ НЕЗАВИСИМЫХ ГРУПП**

А.В. Беседин

Научный руководитель – Шмонова М.А. кандидат педагогических наук,
доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный медицинский
университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения
Российской Федерации, г. Рязань

Рассмотрены непараметрические методы проверки статистических гипотез в программе Statistica.

Ключевые слова: *непараметрические методы, статистика, анализ.*

**NONPARAMETRIC METHODS IN THE STATISTICA PROGRAM.
COMPARISON OF TWO INDEPENDENT GROUPS**

A.V. Besedin

Scientific supervisor – Shmonova M.A., candidate of pedagogical sciences,
associate professor

Ryazan State Medical University, Ryazan

Nonparametric methods for testing statistical hypotheses in the Statistica program considered.

Key words: *nonparametric methods, statistics, analysis.*

Непараметрические методы проверки статистических гипотез находят широкое применение в психологических и медицинских исследованиях. Они отличаются простотой проведения.

Применение непараметрических методов статистического анализа целесообразно при малом числе наблюдений, а также когда нет уверенности в соответствии данных закону нормального распределения.

Рассмотрим применение непараметрического метода анализа на примере сравнительного анализа двух независимых групп испытуемых:

- группа № 1: с нарушением режима сна и бодрствования;
- группа № 2: без нарушения режима сна.

Оценим значимость различия систолического артериального давления в двух указанных группах.

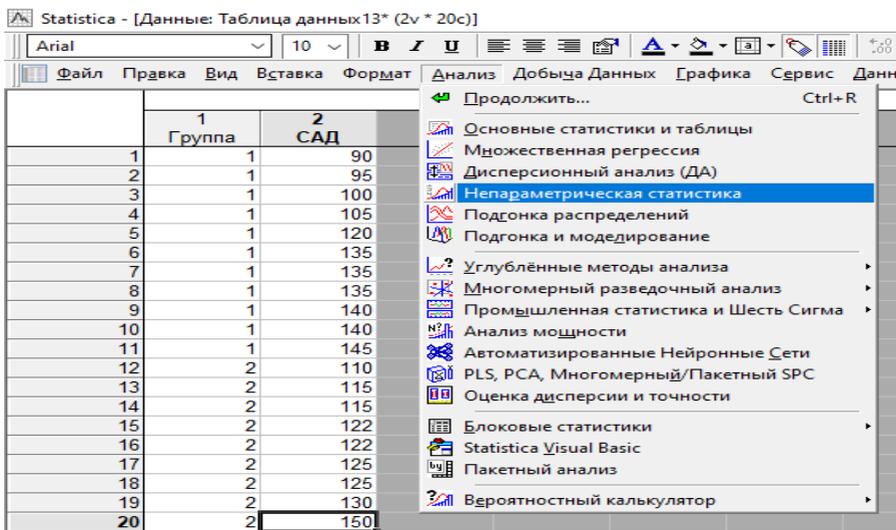


Рис. 1 – Ввод исходных данных в программу STATISTICA и выбор статистического модуля

Для оценки значимости различия систолического артериального давления в двух независимых группах был использован модуль «непараметрическая статистика» (рис. 1) программы Statistica [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8].

Критерий серий Вальда-Вольфовица (Таблица данных13)										
По перем. Группа										
Отмеченные критерии значимы на уровне $p < ,05000$										
Перем.	N Группа 1	N Группа 2	Среднее Группа 1	Среднее Группа 2	Z	p-уров.	Z скорр.	p-уров.	Число серий	Число совп.
САД	11	9	121,8182	123,7778	-2,27541	0,022882	2,04322E	0,041031	6	0

Рис. 2 – Результаты решения

Анализ результатов исследования (рис. 2) позволяет сформулировать следующий вывод: нарушение суточного режима сна и бодрствования значимо влияет на повышение систолического артериального давления.

Библиографический список

1. Авачева Т.Г., Кривушин А.А., Шмонова М.А. Применение информационных технологий для совершенствования преподавания физико-математических дисциплин и развития исследовательской деятельности студентов в медицинском университете [Текст] / Авачева Т.Г., Кривушин А.А., Шмонова М.А. // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы (Биомедсистемы-2021). Сборник трудов XXXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязань, 2021. С. 3–9.

2. Булаев М.П., Шмонова М.А. Оценка значимости различия показателей в независимых и связанных выборках с использованием программных средств. Материалы ежегодной научной конференции университета / под общ. ред. проф. М.М. Лапкина. – Рязань: РИО РязГМУ, 2011. – с. 333-336.
3. Маркова И.С., Шмонова М.А. Реализация в программе Statistica непараметрических методов однофакторного дисперсионного анализа. Материалы научной конференции университета. – Рязань, 2010 – с. 304-302.
4. Фаустова А.Г. Психологическое сопровождение процесса симуляционного обучения в медицине / А.Г. Фаустова // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2017. Т. 5. № 1. – С. 42–51.
5. Шмонова М.А. Использование дистанционных технологий для развития исследовательской деятельности студентов медицинских вузов // Материалы III Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Естественнонаучные основы медико-биологических знаний» (Рязань, 29 апреля 2021 г.) / ред. кол.: Т.Г. Авачева, А.В. Ельцов, А.А. Кривушин; ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России. – Рязань: ОТСиОП, 2021. – С 163–166.
6. Шмонова, М.А. Контекстные математические задачи как средство развития исследовательской деятельности студентов медицинских специальностей в вузе : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 [Текст] / Шмонова Марина Александровна. – Орёл, 2019. – 223 с.
7. Шмонова, М.А. Контекстные математические задачи как средство развития исследовательской деятельности студентов медицинских специальностей в вузе: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Шмонова Марина Александровна. – Орёл, 2019. – 28 с.
8. Avacheva T.G., Dmitrieva M.N., Shmonova M.A., Doroshina N.V., Krivushin A.A. Integration of natural scientific disciplines by means of hierarchical complexes of contextual problems as a method of forming the research competence of students of medical universities // 5th International multidisciplinary scientific conference on social sciences & arts SGEM 2018, 26 August – 01 September, 2018 Albena, Bulgaria: conference proceedings - Science and society, Volume V, Albena, Bulgaria, pp. 447–452.
9. Avacheva T.G. Expanding the Capabilities of Medical Information Systems to Automate the Document Flow of Health Care Institutions / T.G. Avacheva, S.L. Yablochnikov, O.A. Milovanova // Proceedings of the 21st International Conference on Information Technology for Practice, Ostrava, 17–18 октября 2018 года. – Ostrava: Technical University Ostrava, 2018. – P. 7–14.

УДК 616.71

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ, ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Н.А. Булатов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный медицинский
университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения
Российской Федерации, г. Рязань

Рассмотрен принцип передачи ультразвука в ткани и проекция органа как отражающей линзы.

Ключевые слова: *ультразвуковые методы, неинвазивная диагностика, рентгеновское излучение.*

DIAGNOSTIC, THERAPEUTIC, MEASURING DEVICES.

N.A. Bulatov

Ryazan State Medical University named after Academician I. P. Pavlov, Ryazan

The principle of ultrasound transmission into tissues and the projection of the organ as a reflecting lens is considered.

Keywords: *ultrasound methods, noninvasive, X-ray radiation.*

Определение патологии внутренних органов возможно за счет ультразвуковой диагностики – неинвазивного метода исследования с помощью ультразвука определённой частоты. Для исследования органов брюшной полости и забрюшинного пространства, а также полости малого таза используется частота 2,5 — 3,5 МГц, для исследования щитовидной железы используется частота 7,5 МГц. Особый интерес в диагностике вызывает использование эффекта Доплера. Суть эффекта заключается в изменении частоты звука вследствие относительного движения источника и приемника звука. Когда звук отражается от движущегося объекта, частота отраженного сигнала изменяется (происходит сдвиг частоты).

На основании этого была выдвинута теория, выгодно отличающаяся от других методов, которая заключается в универсализации частоты для всех видов органов, за счет использования особенностей процессов распространения ультразвука в человеческом организме.

Орган = Отражающая поверхность.

Известно, что диапазон частоты для диагностики патологии с применением ультразвука примерно равен от 2,5 МГц до 8 МГц, на основании этого, если орган выступает как отражающая поверхность, то при одной частоте возможен обзор нескольких органов. Принцип рассеивания звука позволяет получить графического изображение нескольких органов.

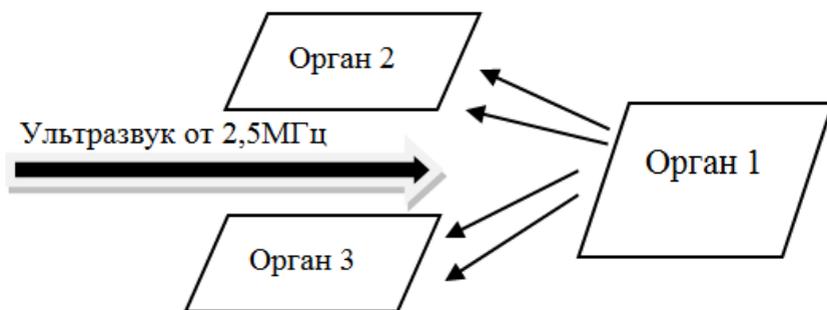


Рис. 1 – Схема воздействия ультразвуком при диагностике

Определение патологии в организме осуществляют на основании отраженных сигналов при воздействии на биологическую ткань ультразвуковых волн, где наблюдаются максимум поглощения и отражения этих волн определенной областью (областью воздействия) (рис. 1).

Поглощение ультразвука может быть обусловлено различными механизмами. Большую роль играет вязкость и теплопроводность среды, взаимодействие волны с различными молекулярными процессами вещества, с тепловыми колебаниями кристаллической решётки и др.[1-2]

При падении звуковой волны на границу раздела сред, часть энергии будет отражаться в первую среду, а остальная энергия будет проходить во вторую среду. Соотношение между отраженной энергией и энергией, проходящей во вторую среду, определяется волновыми сопротивлениями первой и второй среды. При отсутствии дисперсии скорости звука волновое сопротивление не зависит от формы волны [3-4].

Таким образом, излучатели ультразвука имеют потенциальную способность охватывать большую область при ультразвуковых исследованиях и при одних и тех же частотах воздействия на ткань человеческого организма.

Библиографический список

1. Асфандиярова Н.С., Филиппов Е.В., Дашкевич О.В., Дорошина Н.В., Сучкова Е.И., Shehtmester L.I. Преимущества и недостатки режима самоизоляции в период первой волны коронавирусной инфекции для пациентов с полиморбидной патологией // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2021. Т. 29. № 3. – С. 363-368.
2. Авачева Т.Г., Кривушин А.А. Виртуальный симулятор для изучения свойств ионизирующих излучений // В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2022. Сборник трудов V Международного

научно-технического форума. В 10-ти томах. Под общей редакцией О.В. Миловзорова. – Рязань, 2022. – С. 62-65.

3. Авачева Т.Г., Дмитриева М.Н., Кривушин А.А. Развитие навыков исследовательской деятельности студентов медицинского вуза при обучении дисциплин физико-математического профиля // Школа будущего. 2016. № 5. – С. 91-99.

4. Авачева Т.Г., Дмитриева М.Н., Кривушин А.А. Интегративный подход в обучении математике, физике и медицинской информатике студентов медицинского вуза // Школа будущего. 2016. № 5. – С. 83-90.

УДК 004.946

ПРИМЕНЕНИЕ VR – ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ

Е.Д. Высоколова, О.А. Милованова

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Рязань

В настоящее время виртуальная реальность широко используется в медицине, начиная с преподавания и тренинга (анатомическая и функциональная визуализация, лапароскопические тренажеры), заканчивая хирургией (планирование и поддержка хирургических процедур, виртуальная эндоскопия), психологией, реабилитацией и такими областями, как телемедицина. В работе представлен анализ развития виртуальной реальности, её применение в медицине и перспективы их развития.

Ключевые слова: виртуальная реальность, телемедицинские технологии, медицина, применение виртуальной реальности в медицине.

APPLICATION OF VR TECHNOLOGIES IN MEDICINE

E.D. Vysokolova, O.A. Milovanova

Ryazan State Medical University, Ryazan

Currently, virtual reality is widely used in medicine, starting with teaching and training (anatomical and functional visualization, laparoscopic simulators), ending with surgery (planning and support of surgical procedures, virtual endoscopy), psychology, rehabilitation and areas such as telemedicine. The paper presents an analysis of the development of virtual reality its use in medicine and the prospects for their development.

Key words: virtual reality, telemedicine technologies, medicine, application of virtual reality in medicine.

История виртуальной реальности

Термин "виртуальная реальность" был введен Джероном Ланье, писателем, музыкантом, художником-визуалистом и специалистом в области

компьютерных наук, который впервые использовал его в 1986 году в дискуссии со Скоттом Фишером относительно работы Фишера над так называемой виртуальной средой. Более ранний термин «искусственная реальность» был предложен американским ученым-компьютерщиком и художником Майроном Крюгером, которого поэтому назвали пионером виртуальной реальности (1969). Крюгер также является создателем системы виртуальной реальности, разработанной в 1992 году под названием "автоматическая виртуальная среда пещеры" (CAVE), где стереоскопическое изображение проецировалось на пол и стены кубической комнаты. Эта технология была принята для коммерческого использования еще в 1970-х годах. Первое применение виртуальной реальности в здравоохранении относится к началу 1990-х годов. Это было вызвано необходимостью анализа сложных медицинских данных, особенно при планировании хирургического лечения. В 2009 году было создано Международное общество виртуальной реабилитации, задачей которого было создание общей основы для сотрудничества между инженерами, учеными и клиницистами, заинтересованными во внедрении новых технологий в двигательной, психологической, когнитивной и социальной реабилитации [1].

Виртуальные технологии значимы в 21 веке, так как они предоставляют много возможностей: способствуют процессу обучения врачей разных специализаций (преимущественно в хирургии), эффективному процессу обучения студентов в медицинских учреждениях, развития научных исследований, раскрытия подхода к решению определенных проблем. Несомненно, технологии улучшают качество жизни и улучшает профессиональную подготовку специалистов [2-6].

Чаще всего VR технологии применяются в:

- научных исследованиях (проводятся исследования, связанные с психологическими аспектами человеческой жизни) [7];
- психологии и терапии (практики лечения фобий, посттравматических синдромов);
- хирургии (в том числе позволяет проводить удаленные (из любой точки мира) операции живому пациенту, а также для симулянта в образовательных целях);
- анестезиологии (основная концепция – использование VR – технологий в качестве ресурса для отвлечения лобных долей головного мозга на какой-либо другой триггер (переключение на VR среду) и ослабления болевых ощущений соответственно);
- офтальмология (обеспечение диагностики дегенеративных заболеваний зрительного аппарата);
- реабилитации (лечение после инсульта, инфаркта, параличе конечностей, тяжелых травм (ожогов), также включают людей с генетическими заболеваниями, например, синдром Дауна);

- фармакологических компаниях и предприятиях (это необходимо для подготовки персонала к сложной работе на производстве, включает в себя знакомство с оборудованием, решением кейсов при экстренных ситуациях, данные мероприятия повышают опыт и подготовленность кадров и, следовательно, это приводит к созданию качественной продукции и лекарственных препаратов) [8].

Направления будущих исследований

Какие бы ограничения ни накладывал на нас реальный мир, виртуальный мир является его идеальным, неограниченным отражением и создает пространство, где невозможное становится возможным. Пространство, где современные технологические решения порождают новую реальность. В настоящее время мы видим, как виртуальная реальность используется во многих сферах повседневной жизни, включая медицину. В ближайшем будущем виртуальная реальность, скорее всего, станет наиболее распространенным методом обучения молодых людей, а также поможет опытным практикам приобрести новые навыки. Прогнозируется, что следующим шагом станет объединение виртуальной реальности с голографической проекцией, что позволит улучшить трехмерное изображение. Сочетание виртуальной реальности с автономными кибернетическими системами, возможности которых включают способность к саморегулированию и самообеспечению своего существования, приведет к появлению автономных хирургических роботов, автономных систем реабилитации для людей с ограниченными возможностями, автономных образовательных систем и сложного программного обеспечения для виртуальных исследований. Виртуальная реальность - это очень активная область поиска. Однако применение методов виртуальной реальности в медицине и реабилитации требует преодоления многих барьеров, не только финансовых, но и ментальных. Старение обществ развитых и развивающихся стран - это факт, и в предстоящем десятилетии оно будет углубляться. Не хватает как медицинского персонала, так и сил по уходу, поэтому с каждым годом все больше надежд возлагается на современные технологии.

Библиографический список

1. Virtual reality in medicine: A brief overview and future research directions / Mazurek, Justyna & Kiper, Paweł & Cieślík, Błażej & Rutkowski, Sebastian & Mehlich, Krzysztof & Turolla, Andrea & Szczepańska-Gieracha, Joanna // Human Movement. – 2019. – Vol.20. – P. 16-22.
2. Никитин, А. И. Применение VR в медицине / А. И. Никитин, М. К. Абрамов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах, Красноярск, 08–12 апреля 2019 года / Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и

- технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2019. – С. 193-194.
3. Шмонова, М. А. Внедрение модуля "Основы кибербезопасности" в процесс обучения информационным технологиям студентов медицинских вузов / М. А. Шмонова, Т. Г. Авачева, О. А. Милованова // ОБЖ: Основы безопасности жизни. – 2022. – № 1. – С. 18-23.
 4. Милованова, О. А. Изучение основ телемедицинских технологий как средство формирования профессиональных компетенций в медицинском вузе/ О. А. Милованова, Т. Г. Авачева // Актуальные проблемы физики и технологии в образовании, науке и производстве: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 120-летию Александра Васильевича Пёрышкина, Рязань, 24–25 марта 2022 года / Под редакцией В.А. Степанова, О.В. Кузнецовой. – Рязань: Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, 2022. – С. 190-192
 5. Милованова, О. А. О роли телемедицинских технологий в формировании профессиональных навыков студентов медицинского вуза / О. А. Милованова // Естественнонаучные основы медико-биологических знаний: Материалы III Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием, Рязань, 29 апреля 2021 года / Редколлегия: Т.Г. Авачева [и др.]. – Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2021. – С. 173-175
 6. Удалённый мониторинг реабилитации пациентов травматолого-ортопедического профиля / А. В. Федосеев, А. В. Алпатов, А. А. Чекушин, М. С. Ашапкина // Наука молодых (Eruditio Juvenium). – 2020. – Т. 8. – № 2. – С. 296-302.
 7. Лашкова Е. Д., Чаплина К. В., Варламов А. В. Образ тела в виртуальной реальности: подвижные действия в VR-среде и искажения восприятия размеров собственного тела // Сборник материалов VII Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Психология и медицина: пути поиска оптимального взаимодействия» / ред. Кол.: Н.В. Яковлева, А.М. Лесин, Н.Н. Уланова, техн. Ред.: Т.И. Леонова; ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России. – Рязань, 2020. – 187 с.
 8. Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы / Ю. П. Зинченко, Г. Я. Меньшикова, Ю. М. Баяковский [и др.] // Национальный психологический журнал. – 2010. – № 1(3). – С. 54-62.

УДК 004.89, 616.849.1

**ЭЛЕМЕНТЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В МАММОГРАФИИ**

Ю.В. Зубцова, Д.О. Марьина

ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, г. Рязань

В статье рассмотрены возможности применения искусственного интеллекта в диагностике рака молочной железы на ранних стадиях развития.

Ключевые слова: *искусственный интеллект, маммография, онкология.*

ELEMENTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MAMMOGRAPHY

Yu.V. Zubtsova, D.O. Maryina

Ryazan State Medical University, Ryazan

The article discusses the possibilities of using artificial intelligence in the diagnosis of breast cancer in the early stages of development.

Key words: *artificial intelligence, mammography, oncology.*

Рак молочной железы является самой распространенной онкологией среди женщин. Он приводит к летальному исходу в 40% случаев, поэтому своевременная и точная диагностика очень важна в лечении данного заболевания [1]. Наиболее широко используемый метод скрининга рака молочной железы – это маммография – неинвазивный метод исследования молочных желез, который позволяет выявить патологию на самых ранних стадиях развития, а также свидетельствует о наличии фиброзно-кистозного заболевания, характеризующийся уменьшением боли при исследовании, простотой в эксплуатации и высоким разрешением. Маммография может обнаруживать образования молочной железы, которые не могут быть определены врачами, а также верно идентифицировать доброкачественные поражения и злокачественные опухоли молочной железы. В настоящее время маммограммы получают с помощью систем цифровой маммографии. На сегодняшний день искусственный интеллект (ИИ) используется для анализа маммограмм в основном для определения и классификации кистозно-фиброзных изменений молочной железы, выявления микрокальцинатов, сегментации массы молочной железы, оценки ее плотности, оценки риска рака молочной железы и улучшения качества изображения.

Среди различных аномалий, наблюдаемых на маммограммах, новообразования являются одним из наиболее распространенных симптомов рака молочной железы. Трудно обнаружить и диагностировать их из-за различий в форме и размере, особенно при повышенной плотности молочных желез. Высокая плотность груди является независимым фактором риска рака молочной железы, а ее маскирующий эффект основных поражений снижает чувствительность маммографии.

Визуальное определение плотности железы подвержена разногласиям между наблюдателями или различиям в оценках между двумя или более людьми, а также изменчивости внутри наблюдателя или различиям, возникающим при повторных оценках одним и тем же человеком. Чтобы преодолеть эту изменчивость, существует программное обеспечение для классификации плотности груди на основе глубокого обучения ИИ, которое

способно различать тонкие закономерности на изображениях, недоступных человеческому глазу. Благодаря ИИ скрининг рака молочной железы становится более персонализированным, а оценка плотности является одним из важнейших факторов определения степени риска.

Кальцификации молочной железы – это небольшие пятна солей кальция в ткани молочной железы, которые на маммографии проявляются в виде маленьких белых пятен. Существует два различных типа кальцификации: микрокальцификации и макрокальцификации.

Макрокальцификации крупные и грубые, в основном доброкачественные и возрастные. Микрокальцификации могут быть ранними признаками рака молочной железы, их размеры варьируются от 0,1 мм до 1 мм, с видимыми образованиями или без них. В настоящее время применяется несколько систем ИИ для обнаружения кальцинатов на маммографических изображениях. Чтобы обнаружить микрокальцификацию на маммограммах, был предложен гибридный метод, сочетающий контурное преобразование и не связывающую, упрощенную импульсно-связанную нейронную сеть. Такая нейронная сеть может автоматически обнаруживать, сегментировать и классифицировать образования и микрокальцификации при маммографии, предоставляя справочную информацию для рентгенологов и значительно повышая эффективность и точность их работы. Поэтому будущим специалистам в области здравоохранения необходимо владеть набором компетенций дисциплин естественнонаучного цикла, чтобы осваивать сложное программное обеспечение и иметь представление о физических принципах функционирования медицинского оборудования [2].

Раннему выявлению и профилактике рака молочной железы может способствовать использование систем ИИ при ультразвуковом исследовании. УЗИ как широко используемый диагностический метод имеет много преимуществ, таких как простота в эксплуатации, отсутствие ионизирующего излучения и работа в режиме реального времени [3-6].

Чтобы врачи с разным опытом могли прийти к единому выводу, постепенно разрабатывались системы искусственного интеллекта с функциями классификации доброкачественных и злокачественных заболеваний. Для решения данной проблемы, китайские коллеги использовали искусственный интеллект глубокого обучения с множественными слоями свертки [7]. Случайно выбранное подмножество изображений использовалось для обучения программного обеспечения, а остальные случаи использовались для проверки полученной модели в процессе обучения. Результаты были сопоставлены с выводами трех экспертов с разной квалификацией (рентгенолог, ординатор и обученный студент-медик), и результаты показали, что нейронная сеть, которая была обучена всего на нескольких сотнях случаев, показала точность, сопоставимую с показаниями рентгенолога. Наблюдалась тенденция к тому, что нейронная сеть работала лучше, чем студент-медик, который обучался с тем же набором обучающих данных.

Этот вывод указывает на то, что классификация и диагностика заболеваний молочной железы с помощью искусственного интеллекта могут значительно сократить время диагностики врачей и повысить точность диагностики неопытных врачей.

Библиографический список

1. Куликов Е.П., Демко А.Н., Волков А.А., Буданов А.Н., Орлова Н.С. Диагностические возможности современной радиотермометрии в онкомаммологической практике // Российский медико-биологический вестник им. академика И.П. Павлова. - 2021. - Т. 29. - №4. - С. 531-538. doi: 10.17816/PAVLOVJ70596
2. Авачева Т.Г., Кривушин А.А., Шмонова М.А. Применение информационных технологий для совершенствования преподавания физико-математических дисциплин и развития исследовательской деятельности студентов в медицинском университете // В сборнике: Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы (Биомедсистемы-2021). Сборник трудов XXXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2021. С. 3-9.
3. Корнеева П.А., Кривушин А.А. Физические основы радионуклидной диагностики // В книге: Естественно-научные основы медико-биологических знаний. Материалы III Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием. Редколлегия: Т.Г. Авачева [и др.]. Рязань, 2021. С. 55-56.
4. Кривушин А.А., Калинина Н.Н. Использование достижений физики атомного ядра в медицине // В сборнике: Материалы ежегодной научной конференции Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова, посвященной 65-летию работы университета на Рязанской земле. 2015. С. 284-285.
5. Кривушин А.А., Ермакова Н.А. Основные преимущества адронной терапии перед лучевой // В книге: Естественнонаучные основы медико-биологических знаний. Материалы всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием. 2017. С. 316-317.
6. Кривушин А.А. Особенности преподавания дозиметрии ионизирующих излучений для студентов педиатрического факультета / Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2022. Т. 67. № 4. С. 325.
7. Yu-Meng Lei, Miao Yin, Mei-Hui Yu et al. Artificial Intelligence in Medical Imaging of the Breast. Front Oncol. 2021 Jul 22;11:600557. doi: 10.3389/fonc.2021.600557. PMID: 34367938; PMCID: PMC8339920.

УДК 004.6(045)

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ BIG DATA ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

А.А. Мелихова¹, Д.Ю. Павлов²

Научный руководитель – Тихонова О.В.^{1,2}, канд. физ.-мат. наук, доцент

¹ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова», г. Рязань

²ФГАОУ ВО «Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета», г. Рязань

В статье рассмотрены возможности использования технологии Big Data для диагностики и профилактики заболеваний и для принятия управленческих решений в сфере здравоохранения.

Ключевые слова: цифровизация, технологии Big Data, медицина.

THE POSSIBILITIES OF USING BIG DATA IN THE PROCESSING OF MEDICAL DATA

A.A. Melikhova¹, D.Yu. Pavlov²

Scientific supervisor – Tikhonova O.V.^{1,2} Cand. Sci. (Physics and Mathematics),
Assoc. Prof.

¹Ryazan State Medical University named after Academician Ivan Pavlov, Ryazan

²Ryazan Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University, Ryazan

The article deals with the possibilities of using Big Data technology for the diagnosis and prevention of diseases and for making managerial decisions in the field of healthcare.

Keywords: digitalization, Big Data technologies, medicine.

Масштабное внедрение цифровых технологий в различные сферы жизнедеятельности, характерное для современного этапа эволюции общества, создает предпосылки для развития новых методов и средств передачи и обработки информации, которые стремительно интегрируются в различные отрасли: от производства и торговли до медицины [1, 2] и образования [3].

Одной из перспективных цифровых технологий является Big Data, которая позволяет модернизировать систему управления, анализа и рационального использования ресурсов. Основными преимуществами аналитики больших данных по сравнению с более традиционными методами аналитики являются большая скорость обработки данных и возможность анализа поступающей информации в режиме реального времени. Три главных свойства больших данных принято характеризовать как 3V: volume – объём, variety – разнообразие, velocity – скорость.

Медицина является одной из сфер, в которую активно внедряются технологии Big Data, о чем свидетельствуют результаты онлайн-опроса, размещенные на сайте CNews.ru [4]. Медицина требует анализа обширных данных: результатов обследования пациентов, сведений о действии препаратов, о перенесенных и хронических заболеваниях, наследственных предрасположенностях. Использование медицинских решений на основе Big Data позволяет улучшить качество клинических испытаний, быстро и более точно установить диагноз пациента, спрогнозировать возможные осложнения с целью их своевременной профилактики.

Так же анализ больших данных применяется для управления медицинскими организациями и для принятия наиболее эффективных решений в сфере здравоохранения. Например, в пропуски медицинского персонала могут быть встроены специальные микрочипы, которые будут фиксировать их перемещение между палатами пациентов, лабораториями и другими кабинетами, время пребывания в них и другую различную информацию. Весь поток данных собирается в одной базе данных. Таким образом, администрация медицинского учреждения, проанализировав данные Big Data, сможет рациональнее планировать нагрузку на сотрудников, корректировать продолжительность смен, рассчитывать оптимальное количество медицинского персонала.

На уровне медицинской науки технологии Big Data используются для решения описательных, диагностических и предиктивных аналитических задач различной сложности [5].

В 2019 году в рамках проекта «Доктор на работе» был рассмотрен вопрос о преимуществах применения Big Data в здравоохранении. Респондентами опроса стали 1112 сотрудников медицинских учреждений, которые указали ряд преимуществ технологий Big Data перед традиционными методами: электронное расписание (61%), электронная история болезни (73%), электронные рецепты (22%), система интеллектуального анализа изображений (27%) [4]. При этом только 53 % врачей согласны на внедрение IT-системы, которая бы анализировала истории болезней пациентов. Недоверие к системам сбора и анализа медицинских данных связано с недостаточным развитием таких систем, а любая ошибка программы может стоить очень «дорого» в случае, когда речь идет о здоровье пациента. Несмотря на проблемы внедрения данных технологий, некоторые организации успешно используют большие данные в своих целях. На данный момент разработаны несколько медицинских информационных систем, использующие технологии Big Data.

Electronic Health Record (EHR) – это система, которая хранит все возможные записи о состоянии пациента в течении всей его жизни абсолютно по всем направлениям медицины. К данной программе подключено 94 % всех клиник в США. По данным международной консалтинговой компании это помогло улучшить результаты лечения сердечно-сосудистых болезней.

Аналитика в режиме реального времени (Real-time Alerting) – эта система позволяет врачам правильно ставить диагноз и назначать схемы лечения пациентов, а также получать оповещения со специальных устройств в теле человека об отклонении основных показателей, таких как артериальное давление.

Система принятия врачебных решений – прогнозирует всевозможные риски и помогает врачу быстро принять обоснованное решение. Работа работы этой системы основана на анализе данных, содержащих более 30 миллионов записей пациентов, собранных компанией «Optum Labs» через Electronic Health Record.

Программа Cancer Moonshot – проект по ускорению процесса лечения рака, основанный на объединении данных с различных онкологических клиник, позволяющий проанализировать, как различные клетки организма относятся к раковым белкам.

В контексте стремительной цифровизации сферы здравоохранения большое значение имеет переподготовка медицинских работников. При этом необходимо уделять соответствующее внимание формированию навыков применения современных цифровых технологий у студентов образовательных организаций медицинского профиля [6].

Применение Big Data оптимизирует затраты как времени, так и денежных ресурсов, позволяет более корректно устанавливать диагнозы, следить за состоянием пациентов, рассчитывать возможные риски и делать обоснованный выбор в пользу того или иного метода лечения.

Библиографический список

1. Дорошина Н.В., Мурсалова Д.О. Компьютерные решения в стоматологии // Материалы II Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием "Естественнонаучные основы медико-биологических знаний". – 2019. – С. 144-146.
2. Тихонова О.В., Гречушкина Н.В. Интернет медицинских вещей: обзор возможностей // Материалы ежегодной научной конференции Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова, посвящённой Году науки и технологий в Российской Федерации. – Рязань, 2021. – С. 172-173.
3. Ельцов А.В., Ельцова Л.Ф. О реализации некоторых дидактических принципов обучения в электронной информационно-образовательной среде вуза // Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие. – 2021. Т. 9, № 3 (34). – С. 249–257.
4. Иванова А.А. Применение Big Data в сфере здравоохранения: российский и зарубежный опыт // Научные записки молодых исследователей. – 2020. №8(5). – С.42-53.
5. Тихонова О.В., Авачёва Т.Г., Гречушкина Н.В. Тренды развития цифровых технологий в медицине // Медицинская техника. – 2022. № 2 (332). – С. 43-47.
6. Авачева Т.Г., Дмитриева М.Н., Дорошина Н.В. Информационные

технологии в медико-фармацевтических исследованиях как учебная дисциплина в магистратуре // Естественнонаучные основы медико-биологических знаний. Материалы III Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием. – Рязань, 2021. – С. 179-182.

УДК 378.147

ПРИНЦИПЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭХОЭНЦЕФАЛОСКОПИИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ КРУПНЫХ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Н.В. Муравьева

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет им.
И.П. Павлова», г. Рязань

Рассмотрены основы проведения и особенности последующей обработки ультразвукового сигнала в рамках проведения процедуры ультразвукового исследования головного мозга с использованием портативного эхоэнцефалоскопа. Приведена функциональная схема устройства.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика, эхоэнцефалоскопия, медицина, гематома, черепно-мозговая травма.

PRINCIPLES OF ECHOENCEPHALOSCOPY IN THE DIAGNOSIS OF LARGE PATHOLOGICAL FORMATIONS OF THE BRAIN THE INFRARED SPECTROSCOPY METHOD

N.V. Muravyova

Ryazan state medical university named after I.P. Pavlov, Ryazan

The basics of conducting and features of the subsequent processing of the ultrasound signal in the framework of the procedure of ultrasound examination of the brain using a portable echoencephaloscope are considered. A functional diagram of the device is proposed

Key words: ultrasound diagnostics, echoencephalography, medicine, hematoma, traumatic brain injury.

В настоящее время существует и широко применяется множество различных диагностических методов для обнаружения и синтопический характеристики патологических образований головного мозга человека. Среди них выделяют: рентгенологические методы (традиционный рентген, РКТ), методы на основе ядерно-магнитного резонанса (МРТ), методы с применением радиофармпрепаратов (радионуклидная диагностика, ПЭТ, ПЭТ-КТ) и, конечно же, методы с использованием ультразвуковых волн.

Среди всех перечисленных диагностических методов ультразвуковая (УЗ) диагностика, как известно, характеризуется наименьшей безопасностью воздействия на организм пациента и практически не имеет

противопоказаний.

Принцип метода УЗ-диагностики основан на использовании прямого и обратного пьезоэлектрического эффекта (рис.1). Прямой пьезоэффект заключается в образовании разности потенциалов на гранях пьезоэлемента при его деформации (сжатии или растяжении). Обратный пьезоэффект, наоборот, возникает при приложении к пьезоэлементу разности потенциалов и его последующей деформации.

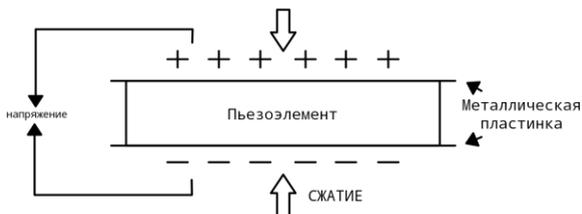


Рис. 1 – Пьезоэлектрической эффект

Реализация принципа УЗ-диагностики в рамках эхоэнцефалоскопии отражена на рисунке 2.

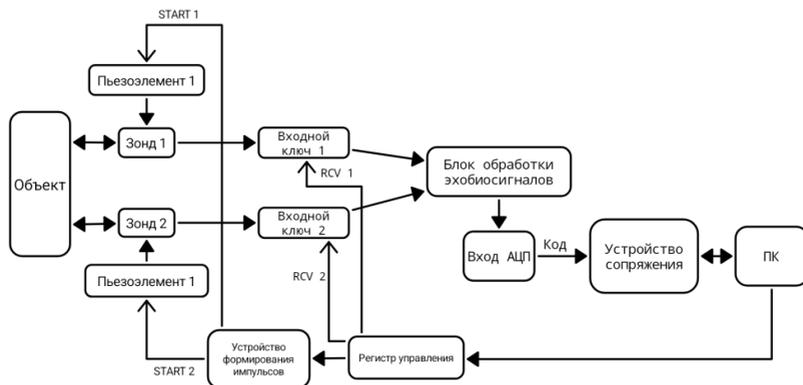


Рис. 2 – Схема проведения процедуры эхоэнцефалоскопии

Пьезоэлементы, встроенные в зонды эхоэнцефалоскопа, получают сигнал START 1 и 2 от устройства формирования импульсов, что приводит к возникновению обратного пьезоэффекта и генерации пучка УЗ-лучей, направленных на исследуемый объект, например, голову пациента. В то же время регистр управления посылает сигналы RCV 1 и 2 к входным ключам 1 и 2, что приводит к открытию входных ключей на время приема сигнала с зондов. Далее сигнал с входных ключей поступает на блок обработки эхобиосигналов и вход аналого-цифрового преобразователя, откуда сигнал в виде кода далее передается на устройство сопряжения и вычислительное

устройство, представленное персональным компьютером (ПК), соединенным с экраном дисплея (монитором), печатным устройством и накопителем данных.

Процесс диагностики патологических образований головного мозга методом эхоэнцефалоскопии основан на оценке расположения срединных анатомических структур мозга относительно центральной сагиттальной плоскости. УЗ-волна, генерируемая пьезоэлементом зонда, распространяется в глубину мягких тканей мозга, где часть ее поглощается эластической средой, а часть – отражается и воспринимается тем же пьезоэлементом. Степень поглощения и отражения посылаемой УЗ-волны зависит от разницы акустического импеданса соседних сред, при этом, чем выше разница их акустического сопротивления, тем больше будет степень отражения падающей УЗ-волны.

В результате процедуры эхоэнцефалоскопии медицинский работник получает двумерный график, образованный путем трансформации механического сигнала в цифровой. Упрощенные примеры эхоэнцефалограмм, которые медицинский работник может увидеть в норме и при наличии патологического образования головного мозга, представлены на рисунке 3.

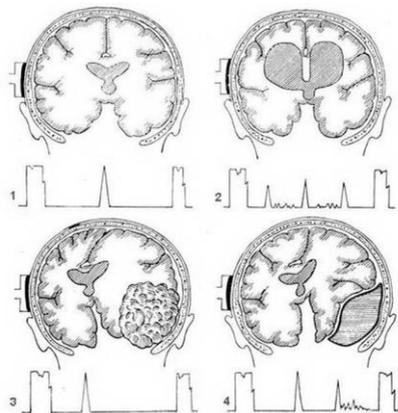


Рис. 3 – Нормальная и патологические эхоэнцефалограммы.

1 – норма, 2 – чрезмерное скопление ликвора в желудочках мозга, 3 – новообразование, 4 – гематома.

Процесс анализа взаиморасположения структур мозга проводится с использованием программного обеспечения (ПО), представленного в комплекте соответствующей модели эхоэнцефалоскопа.

Библиографический список

1. Федоров, М. Ю. Эндокраниоскопия в лечении травматических внутричерепных гематом / М. Ю. Федоров, А. В. Новокшенов, В. В. Агаджанян // Политравма. – 2006. – № 2. – С. 26-31.

2. Компьютерный ультразвуковой эхоэнцефалоскоп / М. Е. Бородянский, И. М. Бородянский, В. В. Котляров [и др.] // Известия ТРТУ. – 1998. – № 4(10). – С. 122-123.
3. Ельцова Л.Ф., Ельцов А.В. О реализации принципа интеграции в организации обучения в медицинском вузе // Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие. 2019. Т. 7, № 1 (24).
4. 6. Ельцов А. В. Муравьева Н. В. О важности изучения акустических явлений в курсе физики медицинского университета // Школа Будущего 2021. №6. С. 184-199.
5. 7. Ельцов А.В., Ельцова Л.Ф. О реализации некоторых дидактических принципов обучения в электронной информационно-образовательной среде вуза // Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие. 2021. Т. 9, № 3 (34). С. 249–257.

УДК 004.896

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ В КЛИНИЧЕСКУЮ ПРАКТИКУ СППВР

М.Д. Ситоленко

Научный руководитель – Шмонова М.А. кандидат педагогических наук,
доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный медицинский
университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения
Российской Федерации, г. Рязань

Рассмотрены проблемы внедрения систем поддержки принятия врачебных решений на примере платформ: «Справочник врача», «Киберис», «АЛГОМ», предложены пути их решения.

Ключевые слова: медицинские информационные системы (МИС), информационно-поисковые системы (ИПС), системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР), искусственный интеллект (ИИ).

PROBLEMS OF INTRODUCTION INTO CLINICAL PRACTICE OF SDSS

M.D. Sitolenko

Scientific supervisor – Shmonova M.A., candidate of pedagogical sciences,
associate professor

Ryazan State Medical University, Ryazan

The problems of implementing systems for supporting medical decision-making are considered on the example of the platforms: "Doctor's handbook", "Cyberis", "ALGOM", ways to solve them are proposed.

Keywords: medical information systems (MIS), information retrieval systems (IPS), medical decision support systems (MDSS), artificial intelligence (AI).

Система поддержки принятия врачебных решений (СППВР) – система, которая предназначена для помощи врачам и медицинским работникам в работе с задачами, связанными с принятием клинических решений. Система может работать на основе информационной базы или самообучаемого искусственного интеллекта. Так же существуют интеграции МИС+СППВР [4, 6, 7, 8].

СППВР основываются на информационно-справочных базах МИС, ИИ и алгоритмах анализа изображений [5].

Представим примеры некоторых российских СППВР и рассмотрим их функционал:

1. Приложение «Справочник врача». Основные функции:

- выбор правильной тактики диагностики в соответствии с клиническими рекомендациями;
- назначение правильной лекарственной терапии в соответствии с федеральными стандартами медицинской помощи РФ;
- учет взаимодействия и побочных действий лекарственных средств;
- контроль динамики пациента [2].

2. Платформа «Киберис» позволяет:

- осуществлять подбор лекарственных препаратов и их аналогов;
- проводить экспресс-диагноз;
- использовать интерактивный атлас человека [3].

3. платформа «АЛГОМ.ру» предоставляет следующие возможности:

- фарм. справочник;
- образовательные ресурсы для пациентов;
- инструменты врача и нормативная документация [1].

Проведённый анализ текущей ситуации по применению систем ИИ в клинической практике позволяет отметить основные проблемы внедрения СППВР в российской медицине:

- несовершенства ИПС;
- неструктурированные медицинские данные;
- СППВР не интегрированы в МИС [5];
- доступность (финансовая).

Для решения проблем внедрения систем поддержки принятия врачебных решений в повседневную деятельность медицинских организаций предлагаем осуществлять:

- разработку, внедрение и совершенствование самообучения ИИ в рамках информационных платформ;
- государственную регистрацию продуктов для проведения испытаний и возможность дальнейшего внедрения в некоммерческие организации [5];
- государственную или инвестиционную поддержку проектов для дальнейшего внедрения в массы.

Библиографический список

1. АЛГОМ – Справочная система для врачей на основе доказательной медицины [Электронный ресурс] : URL: <https://algom.ru>. (дата обращения: 31.10.2022).
2. Медицинские информационные решения. Справочник врача [Электронный ресурс] : URL: <https://www.medsolutions.ru>. (дата обращения: 31.10.2022).
3. Киберис – индивидуальная медицина [Электронный ресурс] : URL: <https://kiberis.ru>. (дата обращения: 31.10.2022).
4. Милованова О.А., Авачева Т.Г. Внедрение медицинских информационных систем в образовательный процесс университета // Материалы II Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием "Естественнонаучные основы медико-биологических знаний", Рязань, 29–30 апреля 2019 года. – Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2019. – С. 256-258.
5. Реброва О.Ю. Жизненный цикл систем поддержки принятия врачебных решений как медицинских технологий // ФГАОУ ВО РНИМУ им. Пирогова, г. Москва, 2020. 11с.
6. Фаустова А.Г. Психологическое сопровождение процесса симуляционного обучения в медицине / А.Г. Фаустова // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2017. Т. 5. № 1. – С. 42–51.
7. Avacheva T.G., Dmitrieva M.N., Shmonova M.A., Doroshina N.V., Krivushin A.A. Integration of natural scientific disciplines by means of hierarchical complexes of contextual problems as a method of forming the research competence of students of medical universities // 5th International multidisciplinary scientific conference on social sciences & arts SGEM 2018, 26 August – 01 September, 2018 Albena, Bulgaria: conference proceedings - Science and society, Volume V, Albena, Bulgaria, pp. 447–452.
8. Avacheva T.G. Expanding the Capabilities of Medical Information Systems to Automate the Document Flow of Health Care Institutions / T.G. Avacheva, S.L. Yablochnikov, O.A. Milovanova // Proceedings of the 21st International Conference on Information Technology for Practice, Ostrava, 17–18 октября 2018 года. – Ostrava: Technical University Ostrava, 2018. – P. 7–14.

РОЛЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

И.Д. Сабитов

Рязанский государственный медицинский университет имени академика

И.П. Павлова, г. Рязань

Научный руководитель – Шмонова М.А. кандидат педагогических наук,
доцент

Рассмотрено влияние цифровых технологий на наше общество, науку и быт.

Ключевые слова: цифровизация, инновация, статистические данные.

THE ROLE OF DIGITALIZATION IN THE MODERN WORLD

I.D. Sabitov

Scientific supervisor – Shmonova M.A., candidate of pedagogical sciences,
associate professor

Ryazan State Medical University, Ryazan

The influence of digital technologies on our society, science and life is considered.

Key words: digitalization, innovation, statistical data.

Прежде чем говорить о влиянии цифровизации, следует понять, что такое цифровизация. Цифровизация – это внедрение современных цифровых технологий в различные сферы жизни и производства. Данное явление активно сказывается и растёт в нашем обществе. И даже не смотря на то, что рост значимости технического оборудования в нашей стране начался относительно недавно, мы уже не можем представить себе жизнь без каких-либо приспособлений.

Судя по прогностической статистике (рис. 1), технический прогресс в нашей стране будет расти и всё больше укореняться, что конечно же имеет своё влияние.

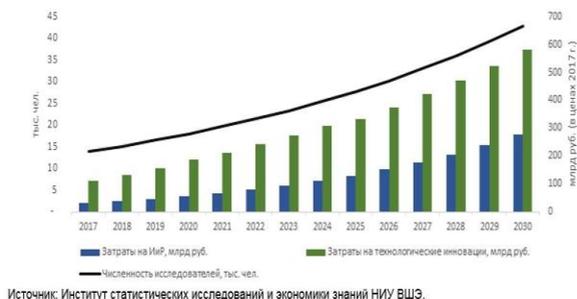


Рис. 1 – Прогнозные оценки ресурсного обеспечения развития цифровой экономики

В других же странах процесс цифровизации идёт более активно, чем в нашем государстве (рис. 2).

Судя по статистике, представленной на рисунке 2, на первых местах по введению технологий в общество, расположены Индия, США и Бразилия соответственно. Теперь следует понять, что же значит это влияние и почему оно так важно для нас.

Для начала разделим нашу жизнь на отдельные части. Мы все зависим от эффективности работы сфер обслуживания, покупаем товары и услуги в интернете и офлайн, общаемся и используем технические приспособления и информацию. Цифровизация делает все эти процессы более простыми и надёжными. Внедрение инноваций в наш быт значительно упростило и ускорило процессы, например, готовки, стирки или же досуговых развлечений.

Что же касемо производственных изменений, то тут цифровизация создала огромный вклад. Разного рода приспособления для производства старых и новых предметов, новые методы и инструкции по созданию вещей, о которых раньше человечество не могло и мечтать. Будь то создание домов или же синтезирование препаратов лабораториях – везде возымело своё влияние цифровизация.

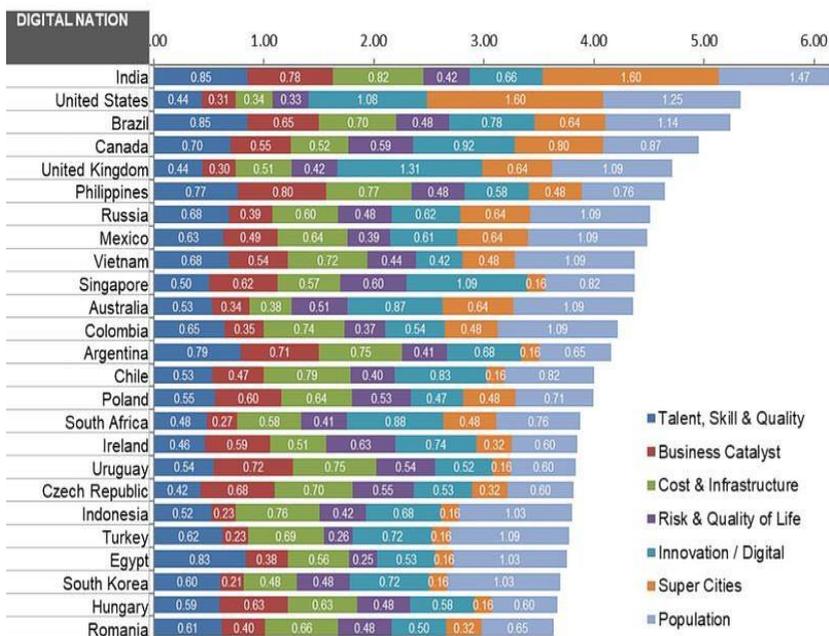


Рис. 2 – Анализ процесса цифровизации по странам

Библиографический список

1. Институт статистических исследований и экономических знаний. [Электронный ресурс] : URL: <https://issek.hse.ru/news/221125086.html>. (дата обращения: 25.10.2022).
2. Платформа прогнозной аналитики и управления рисками в здравоохранении на основе искусственного интеллекта Webiomed [Электронный ресурс] : URL: <https://webiomed.ru/>. (дата обращения: 30.10.2022).
3. Avacheva T.G., Dmitrieva M.N., Shmonova M.A., Doroshina N.V., Krivushin A.A. Integration of natural scientific disciplines by means of hierarchical complexes of contextual problems as a method of forming the research competence of students of medical universities // 5th International multidisciplinary scientific conference on social sciences & arts SGEM 2018, 26 August – 01 September, 2018 Albena, Bulgaria: conference proceedings - Science and society, Volume V, Albena, Bulgaria, pp. 447–452.
4. Avacheva T.G. Expanding the Capabilities of Medical Information Systems to Automate the Document Flow of Health Care Institutions / T.G. Avacheva, S.L. Yablochnikov, O.A. Milovanova // Proceedings of the 21st International Conference on Information Technology for Practice, Ostrava, 17–18 октября 2018 года. – Ostrava: Technical University Ostrava, 2018. – P. 7–14.

УДК 612.135:615.47

ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ПАРАМЕТРОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО КРОВОТОКА ПРИ ЭПИЛЕПСИИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ

Ю.И. Локтионова¹, А.В. Жидков²

¹Научно-технологический центр биомедицинской фотоники ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», г. Орел

²Научно-образовательный центр «Инновационные технические решения в области медицины» ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», г. Орел

Работа посвящена возможностям мониторинга параметров микроциркуляции крови у пациента с эпилепсией. Изучены изменения работы механизмов регуляции микрососудистого русла перед эпилептическим приступом. Зарегистрированы изменения амплитуд колебаний активных факторов, что может являться предвестником приступа.

Ключевые слова: микроциркуляция крови, эпилепсия, лазерная доплеровская флоуметрия.

POSSIBILITIES OF STUDYING THE DYNAMICS OF PERIPHERAL BLOOD FLOW PARAMETERS IN EPILEPSY BY LASER DOPPLER FLOWMETRY

Yu.I. Loktionova¹, A.V. Zhidkov²

¹Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

²Scientific and Educational Center "Innovative technical solutions in the field of medicine", Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

The work is devoted to monitoring the parameters of blood microcirculation of a patient with epilepsy. Changes in the mechanisms of regulation of the microvascular bed before epileptic attack have been registered. Changes in the amplitude of active oscillations have been recorded, which may be a harbinger of an attack.

Key words: *blood microcirculation, epilepsy, laser Doppler flowmetry.*

Эпилепсия является одним из самых распространенных неврологических заболеваний, от которого страдают по разным данным от 50 до 75 млн человек в мире. Эпилепсия характеризуется периодическими всплесками электрической активности различных отделов мозга, что приводит к неконтролируемому поведению человека, потере сознания, локальным или генерализованным судорогам. В настоящее время известно, что у людей с эпилепсией возникают нарушения работы сердечно-сосудистой системы, затрагивающие непосредственно сердце (реполяризация и ишемия миокарда, тахикардия, брадикардия, нарушения сердечного ритма), а также магистральные и периферические сосуды (эндотелиальная дисфункция, спазмирование артерий и сосудов микроциркуляторного русла) [1].

Оптические методы диагностики ранее уже применялись для оценки состояния микрососудистого русла мозговой оболочки у людей с эпилепсией во время приступов [2], а именно метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ). Он основан на зондировании кожного покрова лазерным излучением в ближнем инфракрасном диапазоне и регистрации отраженного от движущихся форменных элементов крови (эритроцитов) света [3]. К преимуществам ЛДФ относятся возможность оценки работы механизмов регуляции периферического кровотока, каждый из которых формирует продольные или поперечные колебания в определенном частотном диапазоне: эндотелиальный (0,0095-0,021 Гц), нейрогенный (0.021-0.052 Гц), миогенный (0.052-0.145 Гц), дыхательный (0.145-0,6 Гц) и сердечный (0.6-2 Гц). Однако ранее не изучалась ежедневная вариабельность состояния микроциркуляторных сосудов в кожных покровах у людей с диагностированной эпилепсией, что могло бы способствовать поиску предикторов приступов.

Целью данной работы явилось изучение динамики параметров периферического кровотока у добровольца с диагностированной эпилепсией.

В исследовании принял участие 1 пациент женского пола. Возраст волонтера составил 73 года, длительность заболевания 40 лет. Частота возникновения эпилептических приступов добровольца составляет в среднем от 1 раз до 3 раз в месяц. Перед исследованием волонтер подписывал информированное согласие на добровольное участие.

Для регистрации микроциркуляции крови применялась распределенная система портативных лазерных анализаторов «ЛАЗМА-ПФ» (ООО НПП «Лазма», Москва). В устройствах реализованы идентичные каналы для регистрации перфузии крови, а также каналы регистрации движений и температуры испытуемого для устранения артефактов.

Измерения проводились ежедневно утром и вечером в одно и то же время не ранее чем через 1,5-2 часа после приема пищи и лекарственных препаратов. Перед регистрацией данных волонтер не выполнял никаких физических упражнений. В качестве области интереса была выбрана волярная поверхность дистальных фаланг третьих пальцев рук. Устройства закреплялись симметрично справа и слева таким образом, чтобы не создавать давление.

Измерение с порядковым номером 13 проведено через 30 минут после окончания приступа (рисунок 2). После первых 5 измерения наблюдается ежедневный рост амплитуд нейрогенных и миогенных колебаний. После 10 измерения наблюдается резкое снижение амплитуд нейрогенных (A_n) и миогенных (A_m) колебаний, при котором возник приступ эпилепсии.

Нейрогенная регуляторная активность значительно зависит от психического состояния человека и связана с работой симпатической нервной системы. Снижение амплитуд нейрогенных осцилляций ($\Delta A_n=18\%$ и 34% для правого и левого пальца соответственно) перед приступом при аналогичном снижении амплитуд миогенных колебаний ($\Delta A_m=49\%$ и 51% для правого и левого пальца соответственно), ассоциированных с работой прекапиллярных сфинктеров, приводит к увеличению тонусов микрососудистого русла и возрастанию жесткости сосудистой стенки, а также к вазоконстрикции артериол и уменьшению числа функционирующих капилляров.

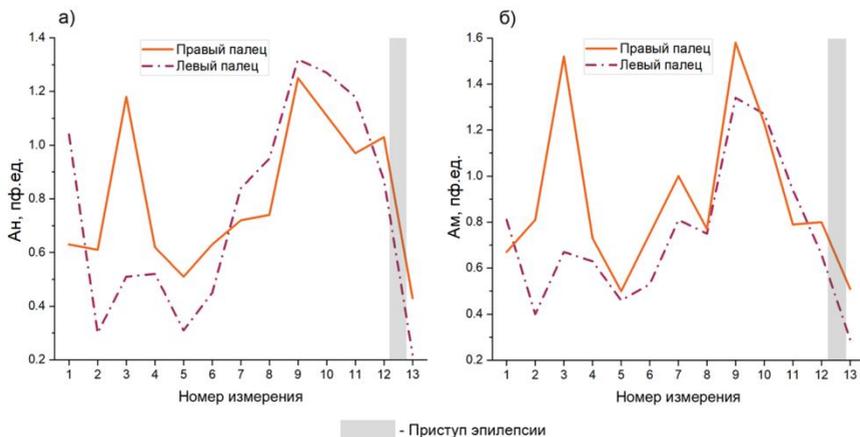


Рис. 2 – Динамика амплитуд осцилляций нейрогенного (а) и миогенного (б) генеза в пальцах

Синусоидальное изменение Ан и Ам наблюдалось также в первой половине измерений с асимметрией между правой и левой сторонами тела (коэффициент асимметрии составил 57% и 56 % для Ан и Ам соответственно), однако после снижения данных параметров приступа не было. Возможно, величина изменений амплитуд осцилляций и их когерентность некоторым образом связано с возникновением приступа, что требует дальнейшего изучения.

Таким образом, найденные закономерности изменения амплитуд нейрогенных и миогенных колебаний могут являться предикторами возникновения эпилептических приступов.

Библиографический список

1. Эпилепсия и сердечно-сосудистая система / Муфазалова Н.А. Валева Л.А. Батракова К.В. и др. // Современные проблемы науки и образования, 2021, 3.
2. Monitoring of cortical blood flow in human epileptic foci using laser Doppler flowmetry / Ronne-Engström E., Carlson H., Blom S. et. al. // Journal of Epilepsy, 1993, 6 (3).
3. Дунаев А.В. Мульти模альная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека: монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2022. – 440 с.: ил.

УДК 615.47

УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА ПРИСТУПОВ ЭПИЛЕПСИИ

Э.А. Даминава, В.С. Сергеев

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

Рассмотрена структура многоуровневой системы мониторинга приступов эпилепсии. Описаны физиологические изменения в организме человека во время приступа, определен элементный состав каналов регистрации биомедицинских сигналов.

Ключевые слова: эпилепсия, электрокардиограмма, электромиограмма, кожно-гальваническая реакция, микроконтроллер, мониторинг.

EPILEPSY SEIZURES MONITORING DEVICE

E.A. Daminova, V.S. Sergeev

Saint Petersburg Electrotechnical University "Leti", Saint Petersburg

The structure of a multilevel system for monitoring epileptic seizures is considered. The physiological changes in the human body during an attack are described, the elemental composition of channels for recording biomedical signals is determined.

Key words: epilepsy, electrocardiogram, electromyogram, galvanic skin response, microcontroller, monitoring.

Эпилепсия является одним из наиболее распространенных неврологических расстройств с частотой примерно 40–70 случаев на 100 000 в год у взрослых [1] и 41–187/100 000 в год у детей [2], что особенно часто встречается в сельских и слаборазвитых районах [1]. Однако, несмотря на оптимальное медикаментозное лечение, около 20–30 % пациентов с эпилепсией будут иметь более одного приступа в месяц, у 12 % будут приступы еженедельно, а у 8 % - ежедневные.[3] Известно, что у пациентов с активной эпилепсией коэффициент смертности в 4–5 раз выше, чем у пациентов с эпилепсией без приступов, особенно в первые годы после постановки диагноза эпилепсии.[4]. Смертность, связанная с эпилепсией, оставалась стабильной в течение последних 50 лет, несмотря на появление множества новых противосудорожных препаратов [5].

Сегодня, по-прежнему, отслеживание приступов основано на персональных воспоминаниях пациента и членов его семьи. Однако, учитывая психоэмоциональные и когнитивные особенности заболевания, воспоминания могут быть искажены неспособностью пациента идентифицировать приступ. Для обнаружения и более точной количественной оценки приступов, с целью подбора терапии, клиницистами в стационарах используются различные инструментальные способы детекции, имеющие недостатки. Ключевыми из которых являются:

возможность использования только в лечебном учреждении, стоимость оборудования и наличие обученного персонала. Таким образом становится очевидной актуальность и практическая значимость разработки устройства мониторинга эпилепсии, что позволит индивидуализировать и улучшить здоровье и самообслуживание пациентов, обеспечивая более персонализированный уход за здоровьем.

Ряд исследований говорят нам о том, что эпилептический приступ в 80% случаев сопровождается нарушением ритма сердца и проводимости [6]. С учетом, разнообразности проявлений биофизических сигналов организма, вызванных нарушением электрической активности мозга, а также в зависимости от наиболее частых локаций патологической активности, считаем оптимальным детекцию следующих показателей: частота сердечных сокращений (ЧСС), вариабельность сердечного ритма (ВСР), электродермальная активность кожи (ЭДА) и электронейромиография (ЭНМГ). На основе предложенного комплекса биомедицинских сигналов предложена структурная схема устройства (рис. 1).

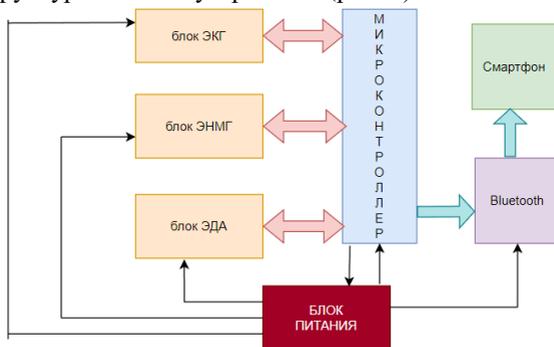


Рис.1 – Структурная схема носимого устройства регистрации биофизических сигналов

С учетом поставленной цели, архитектура устройства должна быть многоуровневой. Так регистрация сигналов происходит с помощью датчиков на уровне блоков ЭКГ, ЭНМГ, ЭДА, на этом же уровне происходит фильтрация входящих сигналов, усиление и оцифровка. Принимая во внимание особенности входящих биоэлектрических сигналов (частоту, напряжение, зашумленность), каждый регистрационный блок должен обладать своим АЦП сигма-дельта архитектуры. Данная архитектура обеспечит высокую разрешающую способность, а следовательно, и точность детекции сигнала. После регистрации, фильтрации и оцифровки сигнал в цифровом виде поступает на микроконтроллер, который управляет не только работой регистрирующих блоков, но и работой блока Bluetooth. С помощью которого сигнал поступает на смартфон пользователя либо персональный компьютер. Поскольку полученные цифровые сигналы будут иметь

многомерную природу и образовывать соответствующее пространство, микроконтроллер должен сравнивать полученные сигналы с пороговыми значениями, определенные персонально для пациента, и в случае несоответствия сигнала пороговым значениям, передавать данные по каналу Bluetooth. Подобный алгоритм обработки данных микроконтроллером, не только позволит повысить энергоэффективность устройства, но и сделает более удобным дальнейший анализ значимых показателей.

Регистрация исходных аналоговых биоэлектрических сигналов сердца и мышечной активности, предполагается с помощью выпускаемых промышленностью датчиков. Так сигнал ЭКГ, планируется детектировать с помощью датчика сердечного ритма AD-8232, с использованием трех отведений [7]. В рамках решаемой задачи, указанные характеристики позволяют получить на выходе с датчика качественный аналоговый сигнал, для дальнейшей его оцифровки на сигма-дельта АЦП. Сигнал электрической активности мышц (ЭНМГ) планируется к регистрации с помощью датчика MYO-micro v1.0. Датчик электродермальной активности кожи (ЭДА), предлагается реализовать на основе ионной модели формирования сигнала ЭДА [8]. В нашем измерительном датчике используется стабильный постоянный ток, по величине не выше значений, стимулирующих собственные электрохимические реакции. Для этого, в блоке ЭДА, необходимо предусмотреть источник тока и подблок измерения напряжения на контактах электродов. Регистрацию сигнала предлагается осуществлять с помощью двух электродов.

Разрабатываемое устройство, в отличие от представленных на рынке носимых устройств, позволит задетектировать и обработать наиболее чувствительные и информативные сигналы, свидетельствующие о происходящем тотальном преобладании процессов возбуждения над процессами торможения, происходящими в участках коры головного мозга. Данная информация, позволит осуществлять качественный и количественный мониторинг состояния пациента при различных заболеваниях головного мозга, сопровождающихся пароксизмами в различных структурах мозга и соответственно, имеющими различное косвенное проявления в разных системах организма.

Библиографический список

1. Сандер Дж. В. «Новый взгляд на эпидемиологию эпилепсии» *Current Opinion in Neurology* апрель 2003 г. - Том 16 - Выпуск 2 - стр. 165-170.
2. Кэмфилд П. Кэмфилд С. «Частота, распространенность и этиология судорог и эпилепсии у детей» *Epileptic disorders* Том 17, номер 2, июнь 2015 г. – стр.117-123.
3. Форсгрэн Л.Беги Э.Оун А.Силланпаа М. «Эпидемиология эпилепсии в Европе» – систематический обзор *European journal of neurology*. 2005 г. Том 12 выпуск 4 – стр. 245-253.
4. Кристенсен Дж. Сидениус П. «Долгосрочная смертность у детей и

молодых людей с эпилепсией – популяционное когортное исследование» Epilepsy Research выпуск 114 2015 г. – стр.81-88.

5. Лошер В. Шмидт Д. «Современные разработки противоэпилептических препаратов не дали результатов: пути решения нынешней дилеммы» Epilepsia том 52 выпуск 4. 2011 г. – стр.657-678.

6. Овчинникова, А.А. Нарушение сердечного ритма и эпилепсия / А.А. Овчинникова, С.А. Гуляев, С.Е. Гуляева, А.В. Овчинников, А.А. Юрченко, А.В. Лантух // Дальневосточный медицинский журнал. – 2016. – №6. – С.54-58.

7. <https://iarduino.ru/shop/Sensory-Datchiki/monitor-serdechnogo-ritma-ekg-ad8232.html>, (дата обращения 29.10 2022 г.).

8. http://www.ipras.ru/cntnt/rus/media/on-layn-bibliote/otdelnie-statii/publikacii/stati_sotr/vvsuhodeev.html (В.В.Суходоев Модифицированная методика измерений и оценки кожно-гальванических реакций человека), (дата обращения 29.10.2022 г.).

УДК 612.766.1

МЕТОД КОНТРОЛЯ ПРАВИЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ УПРАЖНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ

О.В. Мельник¹, А.В. Алпатов², М.С. Ашاپкина^{1,2}

¹ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

²ООО «БИОТЕХПРОДАКТС», г. Рязань

Рассмотрен принцип регистрации и обработки видеосигнала для метода контроля правильности выполнения упражнений как способ организации дистанционной реабилитации с использованием средств объективного контроля двигательной активности. Предложена программная реализация получения траектории движения на основе машинного обучения.

Ключевые слова: дистанционная реабилитация, упражнение, видеокادر, машинное обучение, язык программирования Python.

THE METOD OF THE ACCURACY CONTROL OF THE EXECUTION OF THE EXERCISES

O.V. Melnik¹, A.V. Alpatov^{1,2}, M.S. Ashapkina^{1,2}

¹Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

²LLC BIOTEHPRODAKTS, Ryazan

The principle of video frames recording and processing for the method of the problem of the accuracy control of the execution of the exercises as a method of the organization for remote monitoring of the physical rehabilitation process with using objective control is considered. A software implementation of obtaining the trajectory based on the use of the machine learning solution is proposed.

Keywords: remote rehabilitation, exercise, video frame, machine learning, Python.

Самостоятельное занятия комплексом реабилитационных упражнений предполагают оценку возможности четкое соблюдения техники выполнения упражнений. Однако большинство людей не обладают специальными знаниями по технологии выполнения упражнений, часто движения выполняются нерегулярно и не в полном объеме. Это обстоятельство значительно снижает эффективность занятий. Очевидно, что в домашних условиях у человека отсутствует возможность квалифицированно контролировать правильность выполнения упражнений [1].

Наличие данных проблем требует поиска технологических решений и внедрения доступных способов объективного контроля процесса работы опорно-двигательного аппарата при выполнении упражнений. Данная проблема может быть решена с помощью дистанционного сопровождения на основе видеоконтроля с использованием видеокамеры смартфона.

Результатом видеоконтроля выполнения упражнения должна стать траектория двигательного акта, описывающая изменение позиции или ориентации сустава, подверженного нагрузке в пространстве во времени. Оценка правильности траектории основана на использовании специальных количественных метрик [2, 3].

В рамках данной работы задача получения траектории движения контрольной точки решалась на основе использования программной платформы MediaPipe Pose – это решение на основе машинного обучения для отслеживания позы тела с высокой точностью, выводящее 33 3D-ориентира и маску сегментации фона на всем теле из видеок кадров. Преимуществом данного программной платформы является возможность работы в реальном времени на большинстве современных смартфонах на базе Android и iOS, а также ПК с использованием Python.

Для прототипирования системы регистрации был разработан проект на базе Python. Для этого было проведены подготовительные мероприятия:

Во-первых, выполнена видеосъемка базовых упражнений. При съемке учтена необходимость наличия в кадре головы, что является одной из ключевых точек для работы детектора человека. Съемка смонтирована как один цикл выполнения упражнения.

Во-вторых, для каждого упражнения построена модель в терминах «landmark model in MediaPipe Pose predicts the location of 33 pose landmarks». Выделены точки-опоры и точки целевой траектории. Например, для дыхательного упражнения в положении «лежа», это будет выглядеть так:

- голеностоп (статика);

- таз (динамика небольшой амплитуды);
- плечо (статика);
- запястье (основное движения).

Для данного примера траектория движения формируется за счет трекинга запястья относительно линии голеноstop-плечо. Аналогичная операция была выполнена для остальных 13 упражнений. Описание комплекса упражнений в виде списка ключевых точек структурировано в виде json файла. Схема упражнения и пример трекинга показаны на рисунке 1.

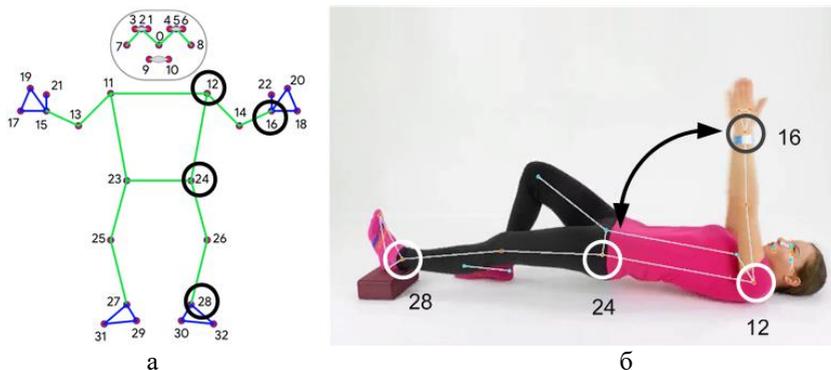


Рис. 1 – Отслеживания позы тела для дыхательного упражнения
 а – Схема упражнения, выводящая 33 ключевых точек 3D-ориентира
 б – Пример выбора ключевых точек для дыхательного упражнения

Перед выполнением упражнения голосом дается команда занять исходное положение. Фиксируется положение контрольных точек относительно друг друга и проверяется согласно протоколу упражнения. Если фиксируются флуктуации движения контрольной точки (запястье) или неправильное расположение контрольных точек, то выдаются соответствующие команды: «Неправильное исходное положение» или «Пожалуйста, не двигайтесь» [4].

Таким образом, предложен метод контроля правильности выполнения упражнений на основе видеорегистрации, что позволит в дальнейшем разработать единую программную систему для дистанционного сопровождения выполнения физической реабилитации и восстановления утраченных двигательных функций опорно-двигательного аппарата. В качестве датчика для получения информации используется высокоскоростная камера. Программная реализация опирается на функции платформы MediaPipe. Это позволит в будущем реализовать представленные идеи в виде мобильного приложения для обычного смартфона. Тем не менее, предлагаемый подход требует теоретического и экспериментального изучения и обоснования для дальнейшей реализации.

Библиографический список

1. Алпатов А.В., Ашапкина М.С., Валиуллина С.А., Новосёлова И.Н. Дистанционная физическая реабилитация в позднем периоде для подростков после травм позвоночника на основе смартфона//Биомедицинская радиоэлектроника. 2020. Т. 23. № 3. С. 75-84.
2. M.S. Ashapkina, A.V. Alpatov, V.A. Sablina, A.V. Kolpakov. Metric for Exercise Recognition for Telemedicine Systems // Proceedings 2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2019 – Budva, 2019, pp. 668-671.
3. Патент РФ № 2692535 С1, МПК А61В 5/11. Способ реабилитации и восстановления двигательной активности под аудиовизуальным самоконтролем. Авторы: А.В. Алпатов, М.С. Ашапкина. Дата государственной регистрации: 25.06.2019.
4. Мобильное приложение «Здоровая спина» [Электронный ресурс] URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.biotechproducts.healthful> (дата обращения 25.10.2022).

СЕКЦИЯ 4. ДАТЧИКИ, ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ, ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЕ КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ ПАТОЛОГИИ В ВЕТЕРИНАРИИ

Н.М. Богатов, М.О. Журавель

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар

Проведена оценка эффективности использование различных фазированных датчиков при исследование кардиологических патологии в ветеринарии.

Ключевые слова: *ультразвуковое исследование, кардиология, ветеринария, фазированные датчики, частота.*

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF VARIOUS PHASED SENSORS IN THE STUDY OF CARDIAC PATHOLOGY IN VETERINARY MEDICINE

N.M. Bogatov, M.O. Zhuravel

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State University», Krasnodar

The effectiveness of the use of various phased sensors in the study of cardiac infections in veterinary medicine was evaluated.

Key words: *Ultrasound, Cardiology, Veterinary, Phased transducers, Frequency.*

Из всех возможных способов получения диагностической информации о биологических структурах с помощью ультразвука наибольшее распространение имеет способ получения двухмерного изображения. При этом применяется периодическое излучение УЗ импульсов во внутренние структуры организма и прием сигналов, отраженных акустическими неоднородностями структур. Совокупность принятых сигналов, называемых эхо-сигналами, позволяет построить акустическое изображение биологических тканей на специальном индикаторе (мониторе). Таким образом, информация получается прежде всего за счет отражения УЗ колебаний и образования эхосигналов - вторичных сигналов, распространяющихся в сторону, обратную направлению излучения. Величина(уровень) эхо-сигналов определяется отражающими свойствами границ раздела структур, что прежде всего связано с различием акустических характеристик структур. Кроме того, на характеристики акустического изображения влияют такие физические эффекты, как:

преломление - изменение направления распространения УЗ сигналов при переходе из одной среды в другую;

рассеяние - многократное отражение УЗ сигналов на мелких неоднородностях;
 поглощение УЗ сигналов вследствие вязкости среды. В общем виде структурная схема рис. 1.



Рис. 1 – Спектры поглощения глюкозы, воды и меланина в красном и ближнем инфракрасном диапазонах излучения

Датчик (зонд) обеспечивает и прием отраженных эхо излучения-приема, датчик осуществляет обследуемой области. Для того прохождения через воздух в поверхность обследуемого наносится слой специального Излучение и прием УЗ сигналов при этом каждый раз в ограниченной в укрупненном масштаб соответствии с направлением луча (сплошная линия) определяя излучаемая мощность. В режиме излучения определяют область, в которой в основном сосредоточена мощность конечно, это не означает, что за пределами границы — это физически невозможно. Граница является в которых уровень мощности излучения уменьшается максимальным уровнем на данной глубине в определенное минус 6 децибелов, кратко -6 дБ) или в 10 раз (-10 дБ излучения на каждой глубине имеет место вдоль оси луча. Все режиму излучения, и луч в этом случае мы называем передающим очередного цикла сканирования устройство управления обеспечивает установку луча датчика. В датчике электрический импульс преобразуется этический импульс, который излучается в направлении импульс начинает движение внутрь биологического объекта скоростью, близкой к скорости звука в воде ($C \sim 1500$ Структурная схема получения двухмерного изображения в УЗ акустического изображения представлена на в определенных направлениях направление последовательный «просмотр» мощности УЗ сигналов при резко возрастает, между рабочей поверхностью датчика ультразвук. осуществляется периодически, равенства которая называется УЗ лучом. который ориентирован в В режиме излучения границы основном сосредоточена пределами границы мощность Граница является условной и обычно лучения уменьшается по определенное число раз, на10

дБ). В результате образуется яркостное изображение, отсюда и название В-режим (от слова brightness - яркость). Другое обозначение для В-режима - 2D-режим (от слова two-dimensional - двухмерный)



Рис. 2 – Секторный, фазированный и линейный датчик.

Регулировка усиления в М-режиме. Значение усиления отображается в области параметров изображения в верхнем правом углу экрана. Операции Усиление увеличивается и уменьшается поворотом ручки по часовой стрелке и против часовой стрелки, соответственно. Влияние на изображение при увеличении усиления повышается яркость изображения, что позволяет увидеть больше получаемых сигналов. Но при этом могут увеличиться помехи. Формат отображения Описание Задание формата отображения изображения М-режима и В-режима. Операции чтобы выбрать формат отображения, нажмите кнопку требуемого формата на сенсорном экране. Влияние на изображение Выбирайте различные типы форматов с учетом фактической ситуации и выполняйте требуемый анализ путем сравнения.. Значение скорости отображается в области параметров изображения в правом верхнем углу экрана. Операции для регулировки значения вращайте ручку под пунктом или используйте меню мэппинга на сенсорном экране. Влияние на изображение Изменение скорости облегчает выявление нарушений сердечного цикла Карта оттенков Описание Эта функция обеспечивает обработку изображения на основе цветового контраста, а не на различиях уровня серого. Операции для выбора карты вращайте ручку под пунктом или используйте меню мэппинга на сенсорном экране. Нажмите ручку под пунктом на сенсорном экране, чтобы включить/выключить функцию. Настройка с помощью панели, а используемом мной аппарате показана на рисунке 3



Рис. 3 – Визуализация экрана на УЗИ аппарате с ветеринарными песетами

Метод УЗИ-диагностики является на сегодняшний день самым точным и безопасным способом исследования работы внутренних органов животных. Он позволяет быстро определить причину заболевания, степень травмирования внутренних тканей, диагностировать беременность животного и определить количество и жизнеспособность плодов. Таким образом, использование ветеринарного УЗИ-исследования при работе с четвероногими пациентами невозможно переоценить. Это один из самых простых, безопасных и безболезненных современных способов обследования животных..

Библиографический список

1. Абдулаев Р.Я. и др. Атлас ультразвуковой диагностики. Харьков, 1993.- С.12-28.
2. Абдурасулов Д.М., Варшавский С.Т. Ультразвуковая диагностика в урологии.-Ташкент, 1971.-С.5-15.
3. Айрапетян Г.А. Акустические характеристики мягких биологических тканей и их изменения при некоторых физиологических и патологических процессах : Автореф. дисс.канд. биол.наук.- Ереван, 1985.- С.4-6.
4. Акаевский А.И. Анатомия домашних животных.- М., 1984.- С.286-312.
5. Акопян В.Б., Белановский А.С. Ультразвуковая диагностика в ветеринарии.-М.,1986.- С.5-14.

УДК 621.383

ПРЕЦИЗИОННОЕ ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОЕ ФОТОПРИЁМНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Е.И. Чернов

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрена и проанализирована функциональная схема прецизионного позиционно-чувствительного фотоприёмного устройства, предназначенного для регистрации флуктуаций оси диаграммы направленности одномодовых

стабилизированных газовых лазеров, используемых в информационно-измерительных системах. Показано, что в описанном устройстве исключена одна из основных погрешностей типовых позиционно-чувствительных фотоприёмных устройств, обусловленная изменением разности коэффициентов передачи сигналов от каждого фоточувствительного элемента четырёх квадрантного фотодиода до сумматора (схемы разности).

Ключевые слова: фотоприёмное устройство, погрешность, фототок, операционный усилитель.

PRECISION POSITION-SENSITIVE PHOTODETECTOR FOR INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS

E.I. Chernov

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The functional scheme of a precision position-sensitive photodetector designed to register fluctuations in the axis of the radiation pattern of single-mode stabilized gas lasers used in information and measurement systems is considered and analyzed. It is shown that in the described device, one of the main errors of typical position-sensitive photodetectors is excluded, due to a change in the difference in signal transmission coefficients from each photosensitive element of a four-quadrant photodiode to an adder (difference scheme).

Keywords: photodetector, error, photocurrent, operational amplifier.

Разработка и эксплуатация информационно-измерительных систем, имеющих в своём составе стабилизированные одномодовые газовые лазеры, предъявляют особые требования к их характеристикам и, в частности, - к стабильности оси диаграммы направленности (ОДН) лазерного излучения (обычно нестабильность ОДН не должна превышать $0,1''-1''$ за 8 часов работы лазера). Проверку лазеров на нестабильность ОДН осуществляют с помощью специальных измерительных комплексов, в состав которых обычно входят позиционно-чувствительные фотоприёмные устройства (ПЧФПУ), выполненные на основе четырёх квадрантных фотодиодов и операционных усилителей. При этом требования к характеристикам ПЧФПУ предъявляются достаточно высокие. И выполнить их бывает сложно. Основные погрешности типовых ПЧФПУ обусловлены изменением разности коэффициентов передачи сигналов от каждого фоточувствительного элемента фотодиода до сумматора (схемы разности) и температурными дрейфами напряжений смещения операционных усилителей и их входных токов. На рисунке 1 представлена функциональная схема ПЧФПУ (для одной координаты), свободного от этих недостатков.

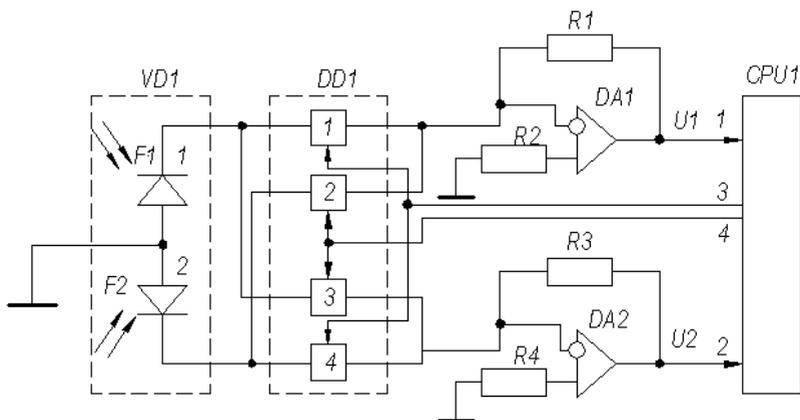


Рис. 1 – Функциональная схема прецизионного ПЧФПУ (для одной координаты).

На рисунке 1: VD1– два (1,2) фоточувствительных элемента четырёх квадрантного фотодиода; DD1 – коммутатор сигналов; OPU – блок управления и обработки сигналов.

ПЧФПУ работает следующим образом. С выходов 3, 4 блока OPU1 на управляющие входы ключей коммутатора DD1 подаются управляющие сигналы в виде противофазных меандров. В зависимости от этих сигналов можно выделить два периодически повторяющихся рабочих такта. Во время первого такта ключи 1, 4 замкнуты, а ключи 2, 3 разомкнуты. При этом катоды элементов 1, 2 фотодиода VD1 подключены соответственно к операционным усилителям DA1 и DA2, на выходах которых формируются напряжения

$$U_{11} = -gF_1R_1, U_{21} = -gF_2R_3, \quad (1)$$

где g – интегральная токовая чувствительность элементов VD1, F_1, F_2 – потоки излучения, падающие соответственно на элементы 1, 2 фотодиода.

В блоке OPU1 устраняются постоянные составляющие сигналов U_{11}, U_{21} , обусловленные начальными смещениями операционных усилителей, выделяются центральные области импульсов (для устранения погрешностей, вызванных переходными процессами по фронтам импульсов) и формируется разностный сигнал

$$U_{31} = U_{11} - U_{21} \quad (2).$$

При втором такте ключи 1,4 разомкнуты, а ключи 2,3 замкнуты. Напряжения на выходах DA1, DA2 соответственно равны

$$U_{12} = -gF_2R_1, U_{22} = -gF_1R_3 \quad (3).$$

Разностный сигнал

$$U_{32}=U_{12}-U_{22} \quad (4).$$

Амплитуда текущего сигнала, состоящего из U_{11} , U_{12} , с учётом выражений (1)-(4) получаем равной

$$U_m=g(R_1+R_3)(F_2-F_1)/2 \quad (5)$$

В блоке ОРУ1 формируется также сигнал

$$U_4= U_{11}+ U_{21}+ U_{12}+ U_{22}=-g(R_1+R_3)(F_2+F_1) \quad (6)$$

Блок ОРУ1 формирует выходной сигнал ПЧФПУ в виде

$$X = U_m/U_4 = (F_1-F_2)/2(F_1+F_2) \quad (7)$$

Как следует из (7) выходной сигнал X не зависит от изменения параметров элементов схемы.

В измерительном комплексе для регистрации нестабильности ОДН лазера F_1 и F_2 - части излучения гауссовского пучка, падающего на элементы 1,2 фотодиода. При точном попадании в центр входного окна фотодиода $F_1=F_2$. При малых перемещениях пучка излучения по входному окну фотодиода выходной сигнал X ПЧФПУ связан линейной зависимостью с величиной перемещения. Расстояние от выходного зеркала исследуемого лазера до окна фотодиода в измерительном комплексе известно, а поэтому величину X можно учитывать с размерностью «угловые секунды».

На сегодняшний день это одно из самых эффективных технических решений ПЧФПУ.

Библиографический список

1. Ураксеев М.А., Марченко Д.А., Шишкин С.Л. Современные оптические измерительные устройства // Приборы и системы. УКД. 2001. № 3. С. 52--54.
2. Метод спекл-интерферометрии для определения теплового расширения наноматериалов [Текст] / Т. А. Компан, А. С. Корнеев, Н. Ф. Пухов [и др.] // Измерительная техника. - 2011. - № 4. - С. 48 -52.
3. Гришанов А.В. Многокомпонентный лазерный измеритель виброперемещений / А. В. Гришанов, В. Н. Гришанов. // Лазеры, измерения, информация: сб. докл. 19-й международ. конф. - СПб.: СПбГПУ, 2009. - С. 400 -410.
4. А.с.1693396, МКИ³ G01j1/44. Позиционно-чувствительное устройство/ Е.И.Чернов, опубл. 1991.-Бюл.№43.

УДК 621.317

ВИДЫ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ

Л.А. Габитова

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа

В данной статье рассмотрены наиболее широко распространённые виды оптической когерентной томографии. Оптическая когерентная томография глаза получила широкое распространение в клинической офтальмологии. Популярность этой инновационной технологии легко объясняется возможностью визуализировать структуры глазного яблока в высоком качестве и разрешении.

Ключевые слова: *виды томографии, оптические методы, когерентная томография.*

TYPES OF OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY

L.A. Gabitova

Ufa State Aviation Technical University, Ufa

This article discusses the most widely used types of optical coherence tomography. Optical coherence tomography of the eye is widely used in clinical ophthalmology. The popularity of this innovative technology is easily explained by the ability to visualize the structures of the eyeball in high quality and resolution/

Key words: *types of tomography, optical methods, coherence tomography.*

Метод оптической когерентной томографии (ОКТ) основан на экспериментах по интерферометрии (рефлектометрии) с помощью которых исследовалось рассеивание низкокогерентного света с исходно высокой поперечной когерентностью и с высокой продольной пространственной (временной) селективностью в элементах волоконной оптики. Быстрое развитие сверхширокополосных коррелированных квантовых источников света, а также волоконной оптики ближнего ИК-диапазона дало новый толчок для развития низкокогерентной оптической волоконной интерферометрии. Появление новых источников света (в первую очередь полупроводниковых суперлюминесцентных диодов) дало возможность реализации продольного разрешения в единицы микрон, а также реализации оптических приборов на волокне.

Корреляционная ОКТ

Принцип работы корреляционной ОКТ состоит в построении изображений внутренней структуры рассеивающей ткани за счет измерения корреляции между излучением, отраженным от опорного зеркала, и рассеянным в обратном направлении от объекта исследования при зондировании широкополосным излучением низкокогерентного источника.

Изменяя оптическую длину опорного плеча, получают значения величины кросскорреляционной функции по всей глубине исследуемого объекта. В ходе получается профиль рассеяния по глубине, получивший название А-скана. Изображение ОКТ формируется из последовательно полученных при поперечном смещении зондирующего луча А-сканов.

ОКТ на базе спектрометра

Спектральный вариант оптической когерентной томографии (ОКТ) основан на анализе спектра интерференции опорной и рассеянной объектом волн, полученного при помощи дифракционной решетки и записи углового спектра, отображаемого объективом в фокальной области на линейке фотоприемников.

Информация о пространственной внутренней структуре объекта по направлению зондирования содержится в амплитуде и эффективной частоте изрезанности огибающей оптического спектра. При этом частота изрезанности обратно пропорциональна величине разности хода (оптической задержки) между интерферирующими волнами, а амплитуда – пропорциональна амплитуде зондирующей волны, возвращенной с соответствующей глубины в объекте. Структура обратного рассеяния в исследуемом объекте восстанавливается для каждого положения зондирующего луча в виде распределения коэффициента обратного рассеяния среды по глубине (А-скана) расчетным образом при использовании преобразования Фурье оптического спектра.

ОКТ с перестраиваемым источником

Метод ОКТ с перестраиваемым источником базируется на использовании узкополосного источника света, оптическая частота которого быстро перестраивается во времени. Основным преимуществом использования перестраиваемых источников является высокая скорость получения А-сканов. Современные коммерческие системы на основе спектрометров предлагают быстроедействие в 30-70 кГц, лучшие экспериментальные установки имеют скорость в 1МГц [30] (при этом используется 4 сканирующих луча, 4 интерферометра).

Кроме рассмотренных выше методов, существует еще ряд подходов.

Одним из самых заметных из них является многофункциональная ОКТ, впервые примененная в микроскопии. В этой технике полностью или частично отсутствует поперечное сканирование, а сигнал принимается на специальную камеру.

Другой способ называется ОКТ со сверхвысоким разрешением. Он основан на использовании перестраиваемых по оптической частоте источников излучения. В этом случае на каждом отдельном фотоэлементе можно говорить об организации спектрального приема в духе ОКТ с перестраиваемым источником.

Третий метод называется ОКТ-ангиография, которая регистрирует латеральные срезы исследуемого объекта и размещают матрицу в фокальной плоскости спектрометра на дифракционной решётке, в результате чего регистрируется оптический спектр суммы интерферирующих волн сразу для всего В-скана.

Более перспективным с точки зрения реализации ОКТ является метод, основанный на принципах оптической цифровой голографии. Элемент разрешения теряет свою характерную для ОКТ структуру «диска», диаметр которого многократно превышает толщину, приобретая более компактную

форму. Кроме высокого поперечного разрешения и скорости регистрации изображений, голографический приём интерференционного сигнала позволяет измерять и численно компенсировать влияние оптических аберраций.

До тех пор, пока не будет решена проблема устранения регистрации многократно рассеянных фотонов, широкое применение методов ОКТ в офтальмологических приложениях невозможно. Тем ни менее данная техника может быть использована в дополнение к ОКТ для анализа динамических тонких изменений в глазу, например – пульсации сосудов.

Библиографический список

1. Свирин А.В., Кийко Ю.И., Обруч Б.В., Богомолов А.В.. Спектральная оптическая когерентная томография: принципы и возможности метода // РМЖ «Клиническая Офтальмология». 2009. С. 50.
2. Рябухо В.П., Тучин В.В. Когерентно-оптические методы в измерительной технике и биофотонике. – Саратов: Сателлит, 2009. 127 с.
3. Астахов, Ю.С. Оптическая когерентная томография: как все начиналось и современные диагностические возможности методики / Ю.С. Астахов, С.Г. Белехова // Офтальмол. ведомости. 2014. Т. 7, № 2. С. 60-68.
4. Васильев, В.Н. Сравнительный анализ методов оптической когерентной томографии. Известия высших учебных заведений / В.Н. Васильев, И.П. Гуров // Приборостроение. 2007. С. 30-40.

УДК 616.12-073.7

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ОДНОКАНАЛЬНОЙ ЭКГ

И.С. Полищук, К.В. Сидоров

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь

Рассмотрено устройство для регистрации одноканальной ЭКГ человека. Устройство разработано на основе микроконтроллера Arduino. Показаны предварительные итоги работы устройства.

Ключевые слова: *электрокардиография, ЭКГ, датчик, микроконтроллер.*

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR RECORDING A SINGLE- CHANNEL ECG

I.S. Polishchuk, K.V. Sidorov

Tver State Technical University, Tver

A device for recording a single-channel human ECG is considered. The device is based on the Arduino microcontroller. The preliminary results of the device operation are shown.

Keywords: *electrocardiography, ECG, sensor, microcontroller.*

В настоящее время метод электрокардиографии представляют собой эффективный диагностический инструмент, который врачи применяют на протяжении многих десятилетий для выявления проблем, связанных с работой сердечной деятельности у пациентов. Современные методы позволяют диагностировать нарушения сердечного ритма и проводимости, выявлять признаки коронарной недостаточности и гипертрофии различных отделов сердца [1]. Исследования проводятся с помощью электрокардиографов, они позволяют регистрировать электрические процессы в миокарде человека (рис. 1) – электрокардиограммы (ЭКГ).

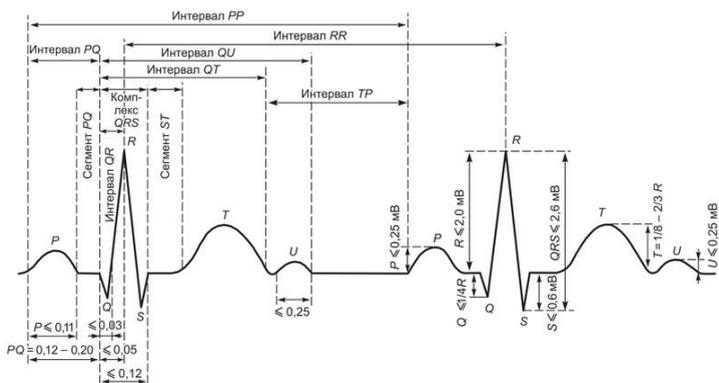


Рис. 1 – Компоненты одноканальной ЭКГ и их нормальные величины [1]

В России на рынке предложено множество различных видов электрокардиографов, отличающихся функциональностью, параметрами и техническими возможностями (например, приборы от ООО «Нейрософт», ООО «МИЦАР», ООО НМФ «Нейротех» и др.).

В данной работе была сформулирована задача по созданию устройства для регистрации одноканальной ЭКГ человека, которое в дальнейшем можно будет использовать в учебном процессе ТвГТУ. Блок-схема устройства представлена на рис. 2.



Рис. 2 – Блок-схема устройства для регистрации одноканальной ЭКГ:
 АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер;
 ПК – персональный компьютер

При разработке устройства принято решение использовать датчик зарубежной компании DFRobot (Analog ECG Heart Rate Sensor [2]), работа которого основана на применении широко известного модуля AD8232 [3]. Аппаратная часть устройства показана на рис. 3.

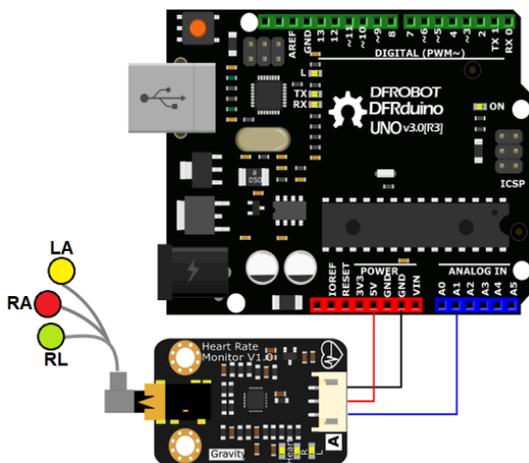
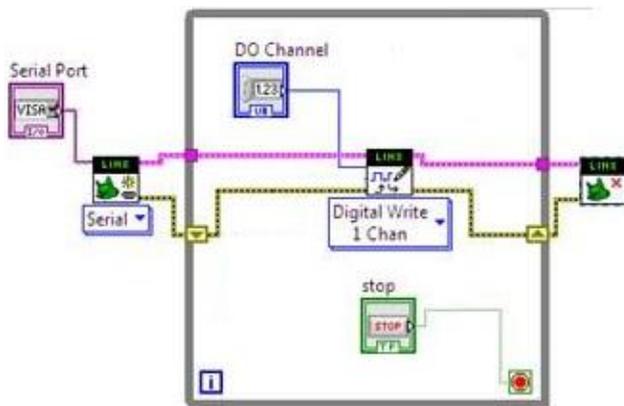


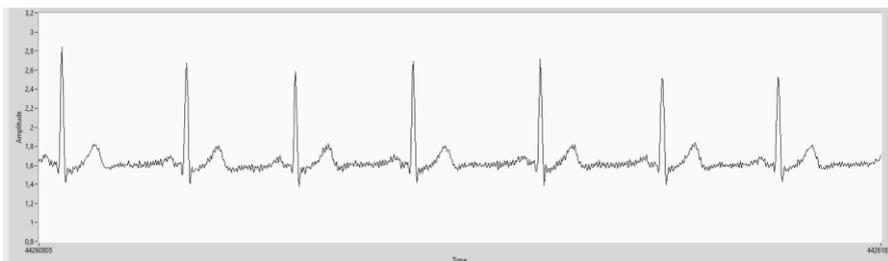
Рис. 3 – Аппаратная часть устройства: электрод RL – правая нога; электрод RA – правая рука; электрод LA – левая рука

Сигнал одноканальной ЭКГ от микроконтроллера Arduino UNO R3 передается с помощью канала USB в ПК, на котором установлено программное средство для регистрации ЭКГ. Программно средство было разработано на платформе LabVIEW 2020 (рис. 4, а). На мониторе ПК отображаются результаты записей одноканальных ЭКГ в виде графических зависимостей.

На рис. 4, б проиллюстрирована одноканальная ЭКГ в состоянии покоя, сигнал зарегистрирован от студента ТвГТУ (мужчина, возраст 22 года).



а – блок-схема программного средства
Рис. 4 – Программная часть устройства



б – амплитудно-временное изображение одноканальной ЭКГ

Рис. 4 – Программная часть устройства

В ходе проведения исследований были получены предварительные результаты, наглядно отображающие работоспособность предложенного устройства для регистрации одноканальной ЭКГ.

В будущем планируется предпринять шаги, направленные на создание программных алгоритмов по предобработке и анализу одноканальной ЭКГ.

Библиографический список

1. Основы клинической электрокардиографии: учебное пособие / И.Г. Меньшикова, Е.В. Магальяс, И.В. Скляр, Н.В. Лоскутова. Благовещенск, 2021. 112 с.
2. Gravity: Analog Heart Rate Monitor Sensor (ECG) For Arduino [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dfrobot.com/product-1510.html> (дата обращения: 15.10.2022).
3. AD8232: Single-Lead, Heart Rate Monitor Front End. Data Sheet (Rev. D) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dfimg.dfrobot.com/nobody/wiki/321d34e087cbf3a0b875461ab7c7a3a8.pdf> (дата обращения: 15.10.2022).

УДК 612.115.2

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ КРОВИ ПРИ КОАГУЛЯЦИИ

П.С. Власов, А.А. Аристов, А.В. Шамолин

«Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск

Рассмотрен метод измерения вязкоупругих свойств крови при коагуляции, основанный на фотометрии. Предложена структурная схема устройства.

Ключевые слова: коагуляция, вязкость, фотометрия.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR STUDYING THE VISCOELASTIC PROPERTIES OF BLOOD DURING COAGULATION

P.S. Vlasov, A.A. Aristov, A.V. Shamonin
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

A method of measuring the viscoelastic properties of blood during coagulation based on photometry is considered. A block diagram of the device is proposed.

Key words: *coagulation, viscosity, photometry.*

В ходе пилотных исследований по разработке автоматизированного устройства для исследования системы гемостаза на основе оценки вязкоупругих свойств крови в процессе коагуляции, выполненных Навродской Е.А. и Аристовым А.А., были получены фотометрические кривые, отражающие изменения физических и геометрических свойств капельного образца с течением времени при вертикальных колебаниях [1]. Полученные результаты указывают на возможность оценки коагуляции по фотометрической кривой, но для более точного анализа необходимо подобрать оптимальные физические и геометрические параметры системы (частота колебаний, амплитуда колебаний, диаметр основания капли, объем капельного образца, диаметр зондирующего потока зондирующего излучения и т.д.), которые позволят точнее дифференцировать процесс коагуляции.

Экспериментально подобрать необходимые параметры системы достаточно сложно. Требуется много экспериментов. Причем, ввиду нестабильности биологических объектов и случайного влияния внешних факторов на процесс, воспроизвести многократно одинаковые свойства системы невозможно. Поэтому, основываясь на оценке установленных в ходе ряда экспериментов закономерностях, необходимо разработать математическую модель, отражающую изменение оптических свойств капельного образца от его физических и геометрических параметров, и в дальнейшем проводить анализ данной модели.

В основе разрабатываемого прибора лежит устройство для исследования рассеивающих свойств капельных образцов биологических жидкостей [2]. Для того чтобы оценить изменение оптических свойств от геометрии капли необходимо экспериментально зафиксировать формы капель в процессе колебания в соответствующие моменты времени, когда производится их фотометрия. В создаваемом приборе будет осуществлена синхронизация видеокамеры, приемника излучения и шагового двигателя (используется для создания колебаний капель). Это необходимо для того, чтобы была возможность отследить значения фототока в определенные моменты времени и сопоставить им снимки в те же моменты времени с видеокамеры. Это позволит сделать точное заключение о том, что значения фототока на приемнике зависят от изменения оптического пути, который проходит излучение через разные среды. При вертикальных колебаниях капельный образец то вытягивается, то уплощается и из-за этого меняется оптический

путь, который проходит излучение в крови [1]. Если оптический путь через кровь увеличивается, то светопоглощение и рассеяние света тоже увеличивается, а значение фототока приемника при этом уменьшается. В процессе коагуляции изменяется вязкость крови, что сказывается на геометрии каплей и приводит к изменению оптического пути, а следовательно, и изменению фототока на приемнике.

Синхронизация работы устройств будет осуществляться за счет подачи микроконтроллером синхроимпульса, при получении которого видеокамера начнет делать снимки по заранее написанному алгоритму (зависит от выбранной частоты колебаний вибрационной платформы) и сохранять их на персональный компьютер (ПК). С записью снимков будет синхронизована работа шагового двигателя, приводящего в движение виброплатформу и считывание сигнала с фотоприемника. Полученные данные о прошедшем через каплю световом потоке будут считываться микроконтроллером и передаваться на ПК. В результате будет сформирована пара файлов - изображение и фототок для данного момента колебания капли. Далее они будут обрабатываться и анализироваться. На данный момент разработана виброплатформа и написано программное обеспечение для взаимодействия видеокамеры с микроконтроллером и ПК. Структурная схема устройства изображена на Рис.1.

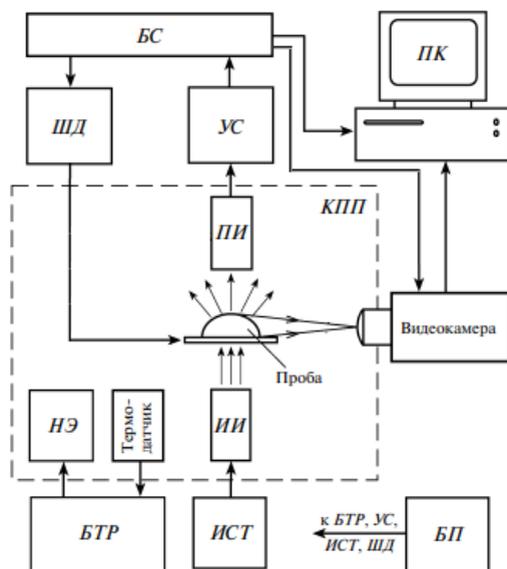


Рис. 1 – Структурная схема устройства. КПП – камера первичного преобразователя; БТР – блок терморегуляции; ИСТ – источник стабильного тока; БС – блок сопряжения; УС – усилитель фототока; БП – блок питания; ШД – шаговый двигатель; ПК – персональный компьютер; ПИ – приемник излучения; НЭ – нагревательный элемент; ИИ – источник излучения

Разрабатываемое устройство позволит провести исследование для установления закономерностей изменения оптических свойств от геометрии капли и далее подобрать оптимальные параметры измерительной системы для получения фотометрической кривой, наиболее точно отражающей динамику коагуляции крови. Благодаря полученной фотометрической кривой можно провести наиболее подробный и точный анализ процесса коагуляции. Впоследствии данное устройство может послужить основой для разработки автоматического портативного коагулометра, что будет способствовать решению проблемы импортозамещения в сфере медицинских приборов.

Библиографический список

1. Навродская Е.А., Аристов А.А. Исследование процесса коагуляции цельной крови на основе новой методики (фотометрия капельных образцов при создании в них механических колебаний) Сборник трудов XXXII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов / под редакцией В.И. Жулева. – 2019. – Рязань. – С. 368-370.
2. Рафальский А.С., Аристов А.А., Евтушенко Г.С., ЖоглоЕ.В. Устройство для исследования рассеивающих свойств капельных образцов биологических жидкостей/ Приборы и техника эксперимента. – 2012. – №2. – С. 144-148.

УДК 621.386.2

РЕНТГЕНОВСКАЯ ТРУБКА КАК ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЙ ТРИОД

Д.А.Дедов

Научный руководитель – Ю.Н. Батищева, старший преподаватель
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г.
Липецк

В данной статье рассматривается возможность динамического управления выходного тормозного излучения в рентгеновской трубке посредством введения управляющей сетки и введением понятия «напряжение смещения».

Ключевые слова: *рентгеновская трубка, триод, термоэлектронная эмиссия, управляющая сетка, динамическое изменение.*

X-RAY TUBE AS VACUUM TRIODE

D.A. Dedov

Scientific adviser - J.N. Batishcheva, Senior Lecturer
Lipetsk State Technical University, Lipetsk

This article discusses the possibility of dynamic control of the output bremsstrahlung in an X-ray tube by introducing a control grid and introducing the concept of "bias voltage".

Keywords: *X-ray tube, triode, thermionic clamping, control grid, dynamic change.*

Принцип работы и физика рентгеновской трубки

Рентгеновская трубка представляет собой вакуумную трубку, которая преобразует входную электрическую мощность в рентгеновские лучи. [1] В отличие от других источников ионизирующего излучения, рентгеновские лучи производятся только до тех пор, пока на рентгеновскую трубку подается питание. Рентгеновские трубки также используются в компьютерных томографах, сканерах багажа в аэропортах, рентгеновской кристаллографии, анализе материалов и структуры, а также для промышленного контроля.

В простейшем типе трубки используется неподвижный анод, помещенный в непроницаемую стеклянную колбу, из которой полностью откачан воздух. Важнейшими элементами трубки являются катод и анод. Нить накала создает так называемое "облако" электронов, которые отталкиваются негативным зарядом катода. Электронный поток формируется фокусирующей чашкой и с высокой скоростью устремляется к позитивно заряженной мишени металлического анода. Взаимодействуя с атомами анодной мишени, электроны отдают большую часть своей энергии в виде тепла. В медицинской рентгенографии только около 1% их энергии переходит в рентгеновское излучение. [2]

Конструктивные особенности электровакуумного триода

Триод — это электронная усилительная вакуумная лампа, состоящая из трех электродов внутри вакуумированной стеклянной оболочки: нагреваемой нити накала или катода, сетки и пластины (анода). Все триоды имеют электрод с катодом, нагреваемый нитью накала, которая испускает электроны, и электрод из плоской металлической пластины, к которому притягиваются электроны, с сеткой, состоящей из экрана из проводов между ними для управления током. Они запечатаны внутри стеклянного контейнера, из которого удален воздух до высокого вакуума. [3]

Демонстрация свободного прохождения (171), притягивания электронов сеткой (172), а также конструкция электровакуумного триода представлена на рисунке 1.

Конструктивное представление рентгеновской трубки с динамическим управлением

Введение в рентгеновскую трубку дополнительного электрода - управляющей сетки - позволяет изменять в широких пределах напряжение через трубку путем изменения в небольших пределах напряжения смещения на ее сетке. Как следствие, удастся моментально регулировать тормозное излучение в зависимости от необходимости, тем самым удастся ощутимо снизить лучевую нагрузку в моменте на пациента. Данное конструктивное решение будет особенно востребованным в КТ-томографах. Предполагаемый вид рентгеновской трубки с управлением и в изометрии представлен на рисунке 2.

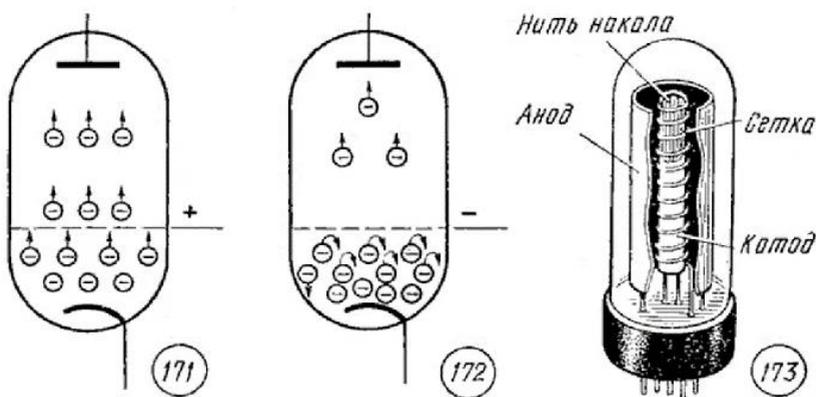


Рис 1. – Принцип работы электровакуумного триода

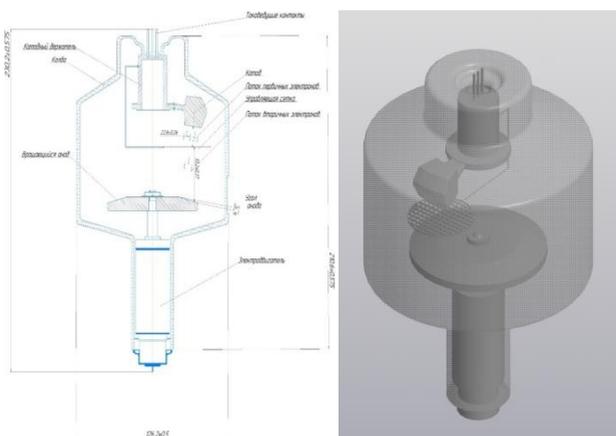


Рис. 2 – Вид рентгеновской трубки с управлением и в изометрии

Библиографический список

1. Белинг, Рольф (2015). Современные диагностические рентгеновские источники, технология, производство, надежность. Бока-Ратон, Флорида, США: Тейлор и Фрэнсис, CRC Press
2. Пиццуттиелло Р., Куллинан Д. Введение в медицинскую рентгенографию. - Нью-Йорк : Компания Истман Кодак. Отд-ние мед. науки, 1996. - 222 с.
3. Все о радиолампах. - М.: Горячая линия-Телеком, 2002. - 296 с.: ил. - (Массовая радиобиблиотека; Вып. 125).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ТИПИРОВАНИЯ КРОВИ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А.А. Аристов, Ю.Н. Ворончихина, Е.И. Гладкова, Ю.А. Розенбаум
ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск

Рассмотрен способ повышения чувствительности метода фотометрии капельных проб для оценки наличия или отсутствия в образцах анализируемой крови специфической агглютинации эритроцитов. Проанализировано влияние спектра зондирующего излучения и процессов агглютинации эритроцитов на оптические свойства исследуемых образцов в виде лежащих капель.

Ключевые слова: *фотометрический метод, группа крови, капельные пробы, спектр излучения.*

DETERMINATION OF OPTICAL WAVELENGTH FOR BLOOD TYPING BY PHOTOMETRIC METHOD

A.A. Aristov, Y.N. Voronchikhina, E.I. Gladkova, Y.A. Rosenbaum
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

A method for increasing the sensitivity of the drop sample photometry method for assessing the presence or absence of specific erythrocyte agglutination in the analyzed blood samples is considered. The influence of the spectrum of probing radiation and the processes of erythrocyte agglutination on the optical properties of the studied samples in the form of sessile drops is analyzed.

Key words: *photometric method, blood type, drop samples, emission spectrum.*

Группа крови – это наследуемый генетический признак, который обуславливается определенным сочетанием антигенов на поверхности эритроцитов [1]. Определение группы крови – это распространенный тест, проводимый при подготовке к переливанию крови. Современные тенденции направлены на разработку и внедрение автоматизированных анализаторов для определения группы крови [2]. Нами изучается новый способ типирования крови, основанный на фотометрии капельных образцов крови с использованием вибрации в кювете [3].

В ходе исследования метода на образцах крови разных людей выяснилось, что в ряде случаев наблюдается довольно незначительное изменение в величине светопропускания образцов при наличии агглютинации, в результате чего может возникать ошибка при автоматическом определении группы крови. Таким образом, важно увеличить чувствительность метода, чтобы за короткий промежуток времени с высокой достоверностью можно было выявить образцы со слабой агглютинацией. Один из способов повысить

чувствительность – это выбрать определенные длины волн оптического излучения. Задача – получить максимальное различие между оптическими сигналами образцов, где отсутствует агглютинация и в которых она произошла. Основываясь на спектральных характеристиках крови, можно заключить, что для проведения исследования наиболее результативным будет диапазон длин волн 530-550 нм, в котором происходит наибольшее поглощение света кровью. Данная гипотеза была проверена в следующем эксперименте.

Чтобы сравнить изменения, происходящие в капельных образцах при их исследовании на зеленой и инфракрасной длинах волн (ранее нами использовался инфракрасный спектр), необходимо было задаться максимально возможным световым потоком, проходящим через оптически однородную среду (100% пропускания). В качестве такой среды был выбран цоликлон (чистый реактив). Дальнейший этап эксперимента содержал определение минимально возможного значения сигнала, характерный для образца с кровью, в котором отсутствует агглютинация. Для этого световой поток пропускали через образец крови, смешанный с изотоническим раствором в соотношении 1:3. Заключительная часть эксперимента – это регистрация изменения величины интенсивности светового потока, прошедшего через образец крови с добавлением реактива цоликлона в соотношении 1:3. При этом в образце происходит процесс агглютинации, и интенсивность светового потока, попадающего на фотоприемник, меняется с течением времени. Исследования проводились на образце крови одного и того же человека. Каждый опыт повторялся не менее 10 раз. На рисунке 1 представлены графики зависимости напряжения от времени, получаемые в результате исследований.

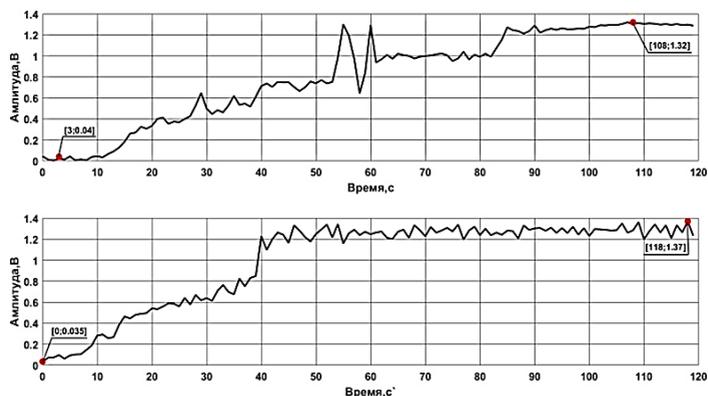


Рис. 1 – График зависимости напряжения от времени при наличии агглютинации. Верхний график – зеленый спектр, нижний – инфракрасный.

Анализируя характер кривых, представленных на рис. 1, можно заметить, что в случае наличия агглютинации в течение 20-40 секунд происходит заметное увеличение значения выходного напряжения по сравнению с его начальным значением (примерно в 20-30 раз).

Выделенные на графиках максимальные величины напряжения, которые достигаются после протекания агглютинации в образце для зеленой и инфракрасной длин волн, достаточно близки. Полученные начальные значения напряжений для графиков, представленных на рисунке 1 в зеленой и инфракрасной областях спектра, сравнивать сложно, т.к. при наличии агглютинации начальные значения очень быстро изменяются, и их величина зависит от момента времени регистрации. Поэтому минимально возможные значения светопропускания фиксировались только по контрольным образцам, где агглютинация не протекает. Показано, что в зеленой области спектра средняя величина сигнал для образцов, в которых отсутствовала агглютинация, составила 0,026 В, что составляет 1,97% от максимального значения напряжения, полученного при агглютинации. Для ИК спектра данная величина составила 0,054 В (3,94% от максимального значения напряжения, полученного при агглютинации). Величины максимального (конечного) значения выходного сигнала для образцов, где произошла агглютинация, как для зеленого, так и ИК спектра, были сравнимы – 1,37 В и 1,32 В. На основе этих данных можно сделать вывод, что изменение сигнала между пробой в отсутствии агглютинации и образцом с агглютинацией для ИК спектра составило примерно 25 раз, а в зеленом спектре – 50 раз.

Экспериментальным путем было подтверждено, что наиболее подходящим диапазоном длин волн для определения наличия агглютинации на основе фотометрии капельного образца будет зеленый спектр. При сравнении двух источников излучения было определено, что в применяемой нами схеме фотометрических измерений в зеленой области спектра поглощение происходит практически в два раза интенсивнее, чем в инфракрасной. Таким образом, при дальнейшем проектировании устройства будут использоваться светодиоды с длиной волны, лежащей в зеленой области спектра.

Библиографический список

1. Определение групп крови по системе АВО и резус-фактора. Учебно-методическое пособие / Под ред. Ф.Н. Гильмияровой. — Самара: ГОУ ВПО СамГМУ, 2007.
2. Маломгре В., Ноймайстер Б. Современные и будущие тенденции в типировании групп крови // Аналитическая и биоаналитическая химия. - 2009. – Том 393. – № 5. – с. 1443-1451.
3. Разработка автоматизированного метода оценки процесса агглютинации эритроцитов для определения группы крови человека / А.А. Аристов, Ю. А. Розенбаум, Г.С. Евтушенко // Медицинская техника. – 2021. - №5. – с. 19-23.

УДК 615.47

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ЛОКТЕВОГО СУСТАВА

М.И. Забудько

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

Обоснована необходимость разработки прототипа тренажера для реабилитации локтевого сустава. Приведено описание основных структурных элементов.

Ключевые слова: инсульт, реабилитация, тренажер, локтевой сустав.

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE SIMULATOR FOR REHABILITATION OF THE ELBOW JOINT

M.I. Zabudko

Saint-Peterburg State Electrotechnical, Saint-Petersburg.

The necessity of developing a prototype simulator for rehabilitation of the elbow joint is substantiated. The description of the main structural elements is given.

Key words: stroke, rehabilitation, simulator, elbow joint.

В настоящее время, несмотря на высокие достижения в клинической медицине и реабилитации пациентов разной степени сложности, стоит вопрос о чрезвычайной важности острого нарушения мозгового кровообращения. Данное заболевание является, помимо медицинской, социальной проблемой, так как занимает существенный объём в доли инвалидизации и смертности населения [1]. В Российской Федерации на каждые 100 тысяч населения приходится около 350-400 случаев инсульта. Наиболее часто встречается заболевание у пациентов в возрасте от 50 до 70 лет, однако, важно отметить, что оно может возникнуть в любом возрасте [1].

Именно после инсульта наибольшая вероятность остаться инвалидом без должного медицинского ухода. Социально-экономическая значимость патологии заключается в том, что не менее трети заболевших и перенесших его составляет трудоспособную часть населения и лишь 20% из них возвращаются к нормальному, рабочему состоянию [2].

Распространённым последствием острого нарушения мозгового кровообращения является остаточная нейромышечная функция верхних конечностей. Собственных сил пациента, зачастую, недостаточно, чтобы полностью восстановить утраченные, в следствии заболевания, функции. Связано это с тем, что собственный вес конечности не позволяет преодолеть приобретённую выраженную мышечную слабость.

Решением данной проблемы является лечебная физическая культура. Однако, самостоятельно пациент не в состоянии качественно, не навредив самому себе, проводить данное мероприятие.

Отечественный рынок не может предоставить широкий выбор качественной продукции в рассматриваемой медицинской сфере, а немногие существующие решения имеют ряд серьёзных недостатков. Среди них можно выделить прикроватный тренажёр рук для инсультбольных представленный Румянцевой Любовью Ивановной [3].

У данного аппарата есть два состояния: пассивная тренировка локтевого сустава и пассивная тренировка плечевого сустава (рис. 1)

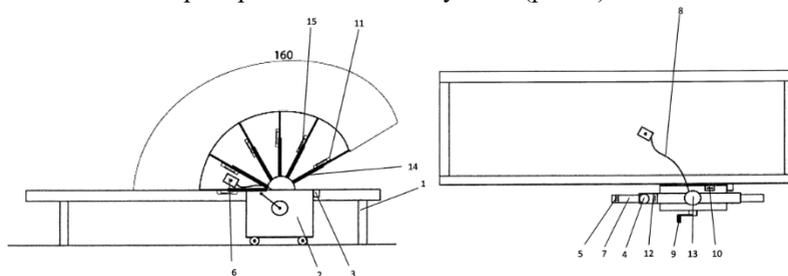


Рис. 1 – Чертеж аппарата в момент пассивной тренировки плечевого сустава: 1-кровать, 2-тумба, 3-фиксатор тумбы, 4-локтевая чашечка, 5-ремень, 6-кнопка вкл/выкл, 7-рычаг, 8-шланг, 9-ручка для ручной прокрутки электропривода, 10-переключатель скоростей; плечевого сустава, 11-страховка труб, 12-ремень, 13-подушечка для плеча, 14-внешняя труба, 15-замок крепления труб.

Среди недостатков данного тренажера отметим способ крепления, что создаёт проблемы фиксации из-за разнообразия размеров и форм современных кроватей. Общие габариты устройства, существенно ограничивающие мобильность и лёгкость использования в домашних условиях. Жесткая фиксация ладони в одном из трех состояний (ладонь направлена вниз, к телу, вверх), причина неполной разработки мышц предплечья или невозможности использования аппарата в случае спазма плечелучевой мышцы, отвечающей за пронацию, супинацию и сгибание предплечья.

Лишен части перечисленных недостатков, но имеющий свои собственные тренажер Качесова Владимира Александровича (рис. 2) [4].

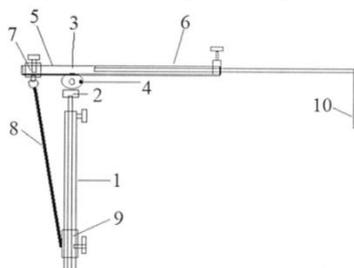


Рис. 2 – Тренажер для реабилитации пациентов с параличами конечностей

Главный недостаток практически полное отсутствие реализации использования в домашних условиях без регулировки лечащего врача. Когда речь заходит о восстановлении тонуса мускулатуры нижних конечностей, так и вовсе самостоятельные упражнения невозможны.

В связи со всем вышеописанным стоит вопрос о необходимости разработки качественного образца тренажера для реабилитации локтевого сустава в домашних условиях.

Основываясь на описанных ниже функциях тренажера, представлена структурная схема (рис 3).

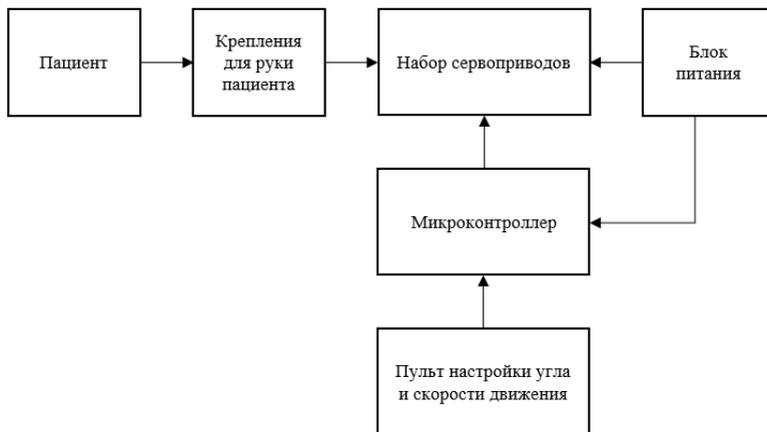


Рис. 3 – Структурная схема прототипа тренажера для реабилитации локтевого сустава

Разрабатываемый прототип должен иметь следующие характеристики. Габариты, прибор должен быть компактным и не вызывать сложности транспортировки как из комнаты в комнату, так и в другие дома. Динамика движений не только по вертикальной плоскости локтевого сустава, но и кругового вращения относительно оси предплечья. Возможность регулировки угла и скорости движений. Это необходимо для прогрессирования реабилитации и возможности применения устройства на ранних этапах восстановления.

Библиографический список

1. Воробьев П.А. Инсульт. Нормативные документы М.: Ньюдиамед. 2010
2. Титов. Б.В., Матвеева Н.А., Мартынов М.Ю., Фаворова О.О. Ишемический инсульт как комплексное полигенное заболевание // Молекулярная биология, том 49, №2, 2014. С. 224-248
3. Патент РФ № 164002 U1, МПК А61Н 1/00. Тренажер для рук инсультбольных. Опубликовано: 20.08.2016
4. Патент РФ № 159866 U1, МПК А61Н 1/00. Тренажер для реабилитации пациентов с параличами конечностей. Опубликовано: 20.02.2016

КЛАССИФИКАЦИЯ ДАТЧИКОВ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ В ЭКСОСКЕЛЕТАХ.

Р.Р. Гилязева

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа

Основная функция датчиков – преобразование любых физических величин в электрический сигнал. Свое применение они находят и в экзоскелетах, что позволяет им совершенствоваться с развитием науки и техники.

Ключевые слова: экзоскелеты, датчик, датчики угловых перемещений, датчики силы.

CLASSIFICATION OF SENSORS. USING MODERN SENSORS

R.R. Gilyazeva

Ufa State Aviation Technical University, Ufa

The main function of sensors is the conversion of any physical quantities into an electrical signal. They also find their application in exoskeletons, which allows them to improve with the development of science and technology.

Keywords: exoskeletons, sensor, angular displacement sensors, force sensors.

Датчики экзоскелетов – это неотъемлемая часть биотехнической шагающей системы, без которых функциональное предназначение не имеет смысла. Благодаря разнообразию современных датчиков удается в полной мере получить большой спектр информационной составляющей, которое необходимо для обработки сигнала и дальнейшего его преобразования. Датчик состоит из чувствительного элемента, реагирующего на внешнее воздействие, и преобразователя, распознающего физическую величину и преобразующего в электрический сигнал.

По своему предназначению датчики должны соответствовать требованиям быстродействия, сверхкороткого хода, надежности и располагаются в определенной части тела в зависимости от характера применения экзоскелета. Датчики должны обладать минимальным весом и размером и не стеснять движения человека, создавая трудности в перемещении. Для меньшей вибрации привода и плавности действий применяют датчики угла поворота и силы (давления). К датчикам угла поворота можно отнести датчики: абсолютного угла наклона спины оператора, абсолютного угла наклона спины экзоскелета, поворота спины относительно бедра и т.д., а к датчикам силы - датчики силового взаимодействия и т.д., датчики бортового вычислителя.

Чаще всего применяют пьезоэлектрические датчики, используемые для распознавания или измерения входного сигнала движения. Принцип работы этого датчика основан на механическом давлении на материал, вследствие

чего вырабатывается электрическая энергия. В основном пьезоэлектрическим материалом служит природный монокристалл кварца и искусственно изготовленная пьезокерамика [4]. Следующим вариантом распознавания сигналов могут послужить тензометрические датчики. Они, как и пьезоэлектрические датчики, используются для измерения силы, ускорения и колебаний тела [1].

Датчики угловых перемещений позволяют зафиксировать положение человека и экзоскелета в равновесии, а также с помощью датчика силы, прикрепленного к соответствующим звеньям, осуществить взаимодействие экзоскелета с испытуемым. Примером может послужить датчик для измерения относительных углов в тазобедренном шарнире экзоскелета – энкодер компании SICK (Германия).

Экзоскелет повторяет биомеханику человека для пропорционального увеличения усилий при движениях. Следовательно, от сферы применения задают максимальные и минимальные углы наклона суставов, момент силы, мощность и т.д. В военной промышленности требуется повышение скорости и ловкости человека, в космической – увеличение угла задаваемого шага. Для реабилитации пациентов с различными видами травм уменьшают значение угла наклона суставов. Поэтому для каждой сферы применяют экзоскелеты разной комплектации с различными настройками. Так, например, в таблице 1 приведены значения углов наклона, крутящих моментов и реализуемых мощностей для суставов человека при шагательном движении.

Таблица 1 – Значения углов наклона, крутящих моментов и мощностей

Тип сустава	Угол наклона, °		Крутящий момент, Нм		Реализуемая мощность, Вт	
	max	min	max	min	max	min
тазобедренный	35	-16	60	-70	120	-30
коленный	65	0	40	-50	60	-70
голеностопный	15	-20	10	-130	50	-150

Динамические датчики угла наклона нужны для контроля абсолютного положения спины испытуемого и экзоскелета. Они оснащены трехмерным акселерометром и трехмерным гироскопом. В регуляторе форм происходит обработка сигнала для исключения эффекта ускорения, вибраций, ударов. Наличие двух осей измерения позволяет контролировать наклон спины в сагиттальной и фронтальной плоскостях.

Датчики силы устанавливаются на элементах фиксации груди и пояса для оценки воздействия экзоскелета на спину оператора, например, в экзоскелетах используется измеритель силы P54, приведенный на рисунке 1, выполненный на тензодатчике типа «SINGLE POINT» T24 A с диапазоном измерений от 5 до 200 кг.

Таким образом, датчики являются необходимой составляющей экзоскелетов. С их помощью удается получить информацию от нервных

окончаний испытуемого или же повысить уровень чувствительности мышечных волокон путем реабилитации пациента в случае врожденных пороков или полученных травм.

Библиографический список

1. Уткин В.Л. "Биомеханика физических упражнений" / В.Л. Уткин. // Москва: «Просвещение», 1989 – 210 с.
<http://medbookaide.ru/books/fold9001/book2061/p1.php>
2. Карлов А.Е. «Модели и алгоритмы управления для биотехнических шагающих систем с гравитационным компенсатором»: дис. ... докт. техн. наук : спец. 2.3.1. / А.Е. Карлов, ЮЗГУ. – Курск. 2021. – 141 с.
https://swsu.ru/upload/iblock/d65/1a14foi6btwub2hljac3qyzs7fuoio2/Dissertatsiy_a-Karlov-23-avgusta.pdf
3. Датчики, приводы экзоскелетов // Официальный сайт «Циклопедия» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyclowiki.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B8,%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%8B,%D1%8D%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2>
4. Что такое пьезоэлектрический датчик // Официальный сайт «oSensorax.ru» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://osensorax.ru/davleniye/pezoelektricheskij-datchik>

УДК 621.396.969

ДВУМЕРНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАРДИОРЕСПИРАТОРНЫХ СИГНАЛОВ В ЛАТЕНТНОМ МОНИТОРИНГЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ГРУППЫ ПАЦИЕНТОВ

А.В. Бутусов, Р.И. Сафронов, С. Кадырова
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Предложена модель выделения параметров дыхания и сердцебиения из радиоволнового сигнала, отраженного от нескольких пациентов. В основу модели выделения сигнала дыхания и кардиосигнала из сигнала биорадиолокатора положен его двумерный Фурье-анализ.

Ключевые слова: биорадиолокатор, сигнал дыхания, кардиосигнал, психофизиологическая диагностика, двумерный Фурье-анализ.

TWO-DIMENSIONAL SPECTRAL ANALYSIS OF CARDIORESPIRATORY SIGNALS IN LATENT MONITORING OF THE FUNCTIONAL STATE OF A GROUP OF PATIENTS

A.V. Butusov, R.I. Safronov, S. Kadyrova

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South-West State University», Kursk

A model is proposed for extracting the parameters of respiration and heartbeat from a radio wave signal reflected from several patients. The model for extracting the respiratory signal and the cardio signal from the bioradar signal is based on its two-dimensional Fourier analysis.

Key words: bioradar, respiratory signal, cardiosignal, psychophysiological diagnostics, two-dimensional Fourier analysis.

Одним из наиболее эффективных методов оценки и диагностики психофизиологического состояния человека – оператора, является непрерывный анализ его функциональных состояний по сердечному ритму (СР) (кардиоинтервалометрия) и по сигналу дыхания (СД). Известно множество технических, алгоритмических и программных решений, реализующих этот метод [1]. Однако СД и СР не являются гармоническими, что вызывает трудности их идентификации частотными методами [2, 3].

Если электромагнитная волна отражается от нескольких пациентов, то в спектре выходного сигнала биорадиолокатора появляются составляющие, обусловленные сложением двух гармонических составляющих близких частот, что приводит к эффекту, известному в радиотехнике как биения. Для разделения составляющих спектра дыхания разных пациентов используется двумерная частотная плоскость (ДЧП) [4, 5]. Специфика использования ДЧП заключается в декомпозиции сложно модулированного сигнала на «быстрые» и «медленные» волны, спектры которых представлены как ортогональные отсчеты на ДЧП. В данном случае в качестве «быстрых» волн выступает СР, а в качестве «медленных» - СД. В случае отражения радиосигнала от нескольких пациентов носителями «медленных» волн будут различные ритмы «быстрых» волн. Если имеет место суперпозиция «быстрых» ритмов, то можно предположить, что их дислокация не перекрывается в области «медленных» волн ДЧП.

На рисунке 1 представлен макет ДЧП с соответствующими «быстрыми» и «медленными» волнами. Для получения ДЧП необходимо провести декомпозицию сигнала по «быстрым» ритмам – квазипериодам СР.

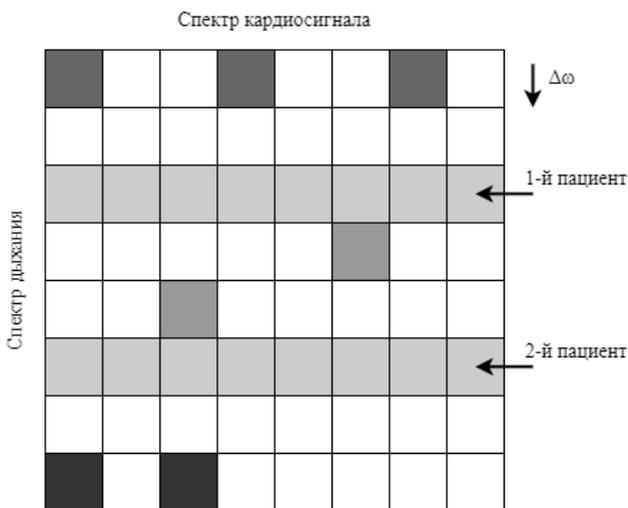


Рис. 1 – Структура двумерной частотной плоскости для двух пациентов

Отсчеты квазипериодов записываются в строках матрицы X с элементами x_{nm} где n -номер квазипериода, m -номер отсчета в квазипериоде. Декомпозиция ритмов на ДЧП основана на том, что сигнал «быстрых» волн сегментирован, и каждый сегмент-квазипериод выступает как дискретный отсчет «медленной» волны. Определив спектры сегментов, можем исследовать их эволюцию во времени, которая, в свою очередь, определяет эволюцию «медленных» волн. Таким образом, переходим к матрице Y , элементу которой являются спектром Фурье строк матрицы X .

Полагаем, что каждая гармоническая составляющая в строке матрицы Y отражает эволюцию «медленной» волны. Поэтому спектр столбца матрицы Y будет отражать ритм дыхания. Для его получения необходимо выполнить преобразование Фурье столбцов матрицы Y .

В результате двумерного спектрального преобразования на ДЧП (рисунок 1) получаем две полосы, соответствующие ритмам дыхания первого и второго пациента. Каждая двумерная частота в этих полосах (строках) характеризует вклад СД в эволюцию соответствующей гармоники СР. Для идентификации ритма дыхания отдельного пациента на ДЧП, используют СД, который отделяют от СР посредством частотной фильтрации путем выбора соответствующей частоты дискретизации на выходе или на входе биорадиосенсора. Таким образом, получим двухканальный сигнал. В первом канале имеем сигнал дыхания, а во втором канале имеем кардиосигнал, модулированный сигналом дыхания. На рисунке 2 представлен пример спектра Фурье в этом канале для двух пациентов с разницей частот ритма дыхания 0,05 Гц.

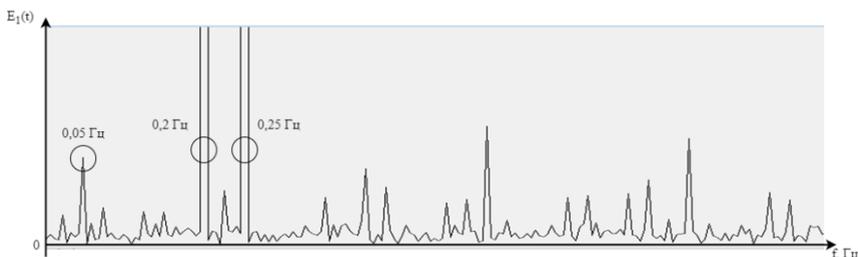


Рис. 2 – Спектр Фурье сигналов дыхания двух пациентов

Таким образом, разделение сигналов дыхания двух пациентов сводится к синхронизации одномерного спектра сигнала дыхания (рисунок 2) с двумерным спектром рисунок 1. Модель раскрыта для случая двух пациентов, но она может быть обобщена и для большего количества пациентов.

Библиографический список

1. Горбатов, К. Silicon RadaR: О дистанционном измерении дыхания и пульса/К. Горбатов// СВЧ-электроника, №3 - 2017.-С.62-67.
2. Filist, S. Developing neural network model for predicting cardiac and cardiovascular health using bioelectrical signal processing/ S. Filist, R.T. Alkasasbehb, O. Shatalova, A. Aikeyevac, N. Korenevskiy, A. Shaqadand, A. Trifonov and M. Ilyashe // Computer methods in biomechanics and biomedical engineering. Volume 25, 2022 - Issue 8. - Pages 908-921.
3. Петрова Т.В. Предикторы синхронности системных ритмов живых систем для классификаторов их функциональных состояний//Т.В. Петрова, С.А. Филист, С.В. Дегтярев, А.В. Киселев, О.В. Шаталова//Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2018. Т. 17. № 3. С. 693-700.
4. Филист, С.А. Способ оценки функционального состояния организма человека на основе анализа двумерных частотных плоскостей кардиосигналов/С.А. Филист, Н.А. Корневский, Т.М. Штотланд //Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2003. Т. 2. № 2. - С. 85-88.
5. Филист, С.А. Методы двумерного спектрального преобразования электрокардиосигналов в ранней диагностике сердечно-сосудистых заболеваний/ С.А. Филист//Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2001. № 3. С. - 14-20.

УДК 004.891.3

РЕГИСТРАТОР ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАММЫ ДЫХАТЕЛЬНЫХ МЫШЦ

А.А. Кузьмин, А.В. Серебровский, Хайдер Али Хуссейн Алавси
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Предложен регистратор поверхностного электромиосигнала дыхательных мышц человека в норме и патологии.

Ключевые слова: *система дыхания, электромиограмма, дескрипторы.*

RECORDER OF THE SURFACE ELECTROMYOGRAM OF THE RESPIRATORY MUSCLES

A.A. Kuzmin, A.V. Serebrovsky, Hyder Ali Hussein Alavsi
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South-West
State University», Kursk

A registrar of the surface electromyosignal of the human respiratory muscles in normal and pathological conditions is proposed.

Key words: *respiratory system, electromyogram, descriptors.*

Для регистрации поверхностной электромиограммы (ЭМГ) дыхательных мышц необходимо принимать во внимание, что на грудной клетке помимо «стандартных» помех при регистрации биопотенциалов (движения и дрейф электродов, электрохимический потенциал электродов, наводки от электрической сети и т.п.) еще присутствует такая помеха, как электрокардиограмма. Поэтому для записи сигналов поверхностной ЭМГ дыхательных мышц выбор стандартного усилителя биопотенциалов для ЭКГ не позволит эффективно решить эту задачу. Сигналы ЭМГ, однако, имеют более высокий частотный диапазон, относительно сигналов ЭКГ. Поэтому предлагается в системе регистрации сигналов поверхностной ЭМГ дыхательных мышц использовать усилители биопотенциалов с такими параметрами выходных фильтров, которые позволяли бы отфильтровывать полезный сигнал от помех, в том числе и от ЭКГ. Тогда входные цепи можно проектировать по традиционным схемам усилителей биопотенциалов с инструментальным усилителем на входе и со схемой компенсации постоянной составляющей электродов (входного ВЧ-фильтра) (рисунк.1).

На рисунке 1 показана реализация инструментального усилителя на базе микросхемы INA122 и схемы компенсации постоянной составляющей электродов на базе операционного усилителя DA2 (питание DA2 на рисунке 1 не показано). Рассчитанные номиналы навесных элементов, приведенные на рисунке 1, обеспечивают частоту среза фильтра около 160 Гц. Основная полоса частот, соответствующая сигналу ЭКГ, эффективно подавляется этой схемой на уровне от минус 20 дБ до минус 70 дБ.

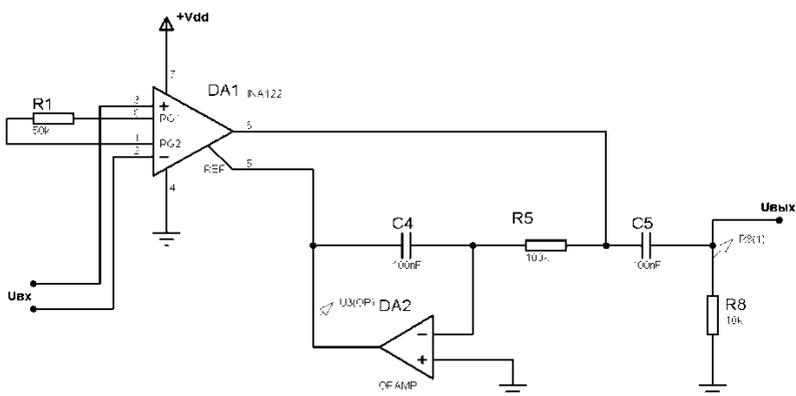


Рис. 1 – Входная цепь усилителя биопотенциалов для регистрации ЭМГ дыхательных мышц на основе инструментального усилителя со схемой компенсации постоянной составляющей электродов

На втором этапе фильтрации применяется фильтр нижних частот (НЧ) для фильтрации ВЧ-помех, а также для сглаживания с целью дальнейшей дискретизации сигнала. Частота среза была выбрана 400 Гц. На высоких частотах помехи не так критичны, в отличие от низких частот, поэтому в качестве фильтра применяется активный фильтр НЧ первого порядка. Использование простейшего фильтра по сравнению с фильтрами Саллена-Кея в данном случае предпочтительнее, так как позволяет дополнительно усилить полезный сигнал на 21дБ, тогда как фильтры Саллена-Кея с таким усилением очень часто становятся нестабильными. Рисунок 2 иллюстрирует снятие ЭМГ с правой груди по трехэлектродной схеме с нормальным электродом, установленным между точек, примерно равноудаленных от сердца.

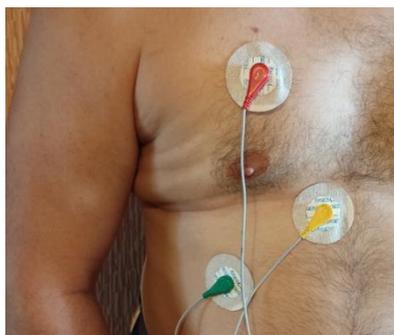


Рис.2 – Расположение электродов для регистрации поверхностной ЭМГ дыхательных мышц

В общепринятой модели формирования ПЭМГ предполагается, что вид регистрируемого сигнала – двойная суперпозиция некоторого количества случайно следующих отдельных миоимпульсов от различных двигательных единиц. Экспериментально установлено [1, 2], что, несмотря на кажущуюся хаотичность вида регистрируемого сигнала, его спектральная мощность имеет вид большого количества узких спектральных линий, ограниченных некоторой плавной огибающей в полосе частот около 100–200 Гц.

Спектр электромиосигнала выглядит сложным и почти хаотическим, однако квадрат Фурье-образа этого спектра уже чрезвычайно прост и представляет собой шесть отдельных спектральных линий. Положения этих спектральных линий определяются временными параметрами электромиосигнала, что может позволить использовать эти спектры в качестве дескрипторов для автономного интеллектуального агента для интерпретации функционального состояния системы дыхания [3, 4, 5].

Библиографический список

1. Петрова, Т.В. Предикторы синхронности системных ритмов живых систем для классификаторов их функциональных состояний / Т.В. Петрова, С.А. Филист, С.В. Дегтярев, А.В. Киселев, О.В. Шаталова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2018. Т. 17. № 3. С. 693-700.
2. Мяснянкин, М.Б. Формирование дескрипторов для классификаторов функционального состояния системы дыхания на основе спектрального анализа электрокардиосигнала/Мяснянкин М.Б., Филист С.А., Киселев А.В., Кузьмин А.А.//Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020. Т. 10. № 3/4. - С. 8-28.
3. Филист, С.А. Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицинских данных / С.А. Филист, Р.А. Томакова, З.Д. Яа // Известия Юго-Западного государственного университета. - Курск: Изд-во ЮЗГУ, 2012. – №4(43). – Ч. 2. – С. 44-50.
4. Филист, С.А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений / С.А. Филист, О.В. Шаталова, М.А. Ефремов // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение. - 2014. - №6. - С. 35-39.
5. Киселев, А. В. Классификация функционального состояния системы дыхания на основе анализа вариабельности медленных волн VLF диапазона /А.В. Киселев, А.А. Кузьмин, М.Б. Мяснянкин, А.А. Маслак, С.А. Филист, А.Ф. Рыбочкин// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2022. – №1. Том 12. – С. 8-32.

УДК 616.71

РАСШИРЕННЫЙ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРОВИ

В.К. Тетерина

Науч. руковод. – Морозова Е.С., канд. техн. наук, доцент, и.о. зав. кафедрой
БМИ

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический
университет», г. Уфа

*Представлены различные виды гематологических анализаторов.
Рассмотрены критерии классификации анализаторов крови.*

Ключевые слова: анализатор; кровь; гематология; эритроциты;
лейкоциты; моноциты; лаборатория; автоматический; анализ; проба;
субполяция.

ADVANCED HEMATOLOGY ANALYZER FOR STUDYING BLOOD PARAMETERS

V.K. Teterina

Scientific adviser – Morozova E.S., candidate of technical sciences, docent, Acting
Head of the Department of BMI

FGBOU VO "Ufa State Aviation Technical University", Ufa

*Various types of hematological analyzers are presented. Criteria for classification
of blood analyzers are considered.*

Keywords: analyzer; blood; hematology; erythrocytes; leukocytes; monocytes;
laboratory; auto; analysis; try; subpolation.

Введение

Гематологические автоматические анализаторы – одни из основных диагностических приборов современной лаборатории. На сегодняшний день гематологический анализатор позволяет выполнять анализ крови по 20 и более параметрам, а также обладает надежностью, точностью и воспроизводимостью результатов с погрешностью около 1–3%.

Критерии классификации гематологических анализаторов

Гематологические анализаторы классифицируют по следующим критериям: количество исследуемых параметров; требуемый объем крови; производительность; возможность подсчета ретикулоцитов; особенности пробоподготовки; возможность дифференцировки лейкоцитов.

Количество исследуемых параметров

Всего существует четыре типа гематологических анализаторов крови по количеству исследуемых параметров:

- 1) до 8 показателей (не проводя деление лейкоцитов на субпопуляции);
- 2) до 20 показателей (возможность деления лейкоцитов на 3 субпопуляции);

3) до 28 показателей (возможность деления лейкоцитов на 5 субпопуляций)

4) до 40 показателей и более (возможность деления ретикулоцитов) [1].

Требуемый объем крови

Каждый из методов гематологических исследований требует определенного количества пробы крови. Значение этого параметра для разных анализаторов лежит в пределах 10–200 мкл. Прежде всего, этот показатель важен для неонатологии и педиатрии, где взятие достаточно большого объема пробы крови не всегда возможно [2].

Производительность

Производительность современных гематологических анализаторов варьируется от 30 до 125 проб крови в час.

Анализатор должен исследовать весь объем проб крови за день в течение 3–4 часов (в первой половине рабочего дня лаборатории), так как результаты анализов должны быть готовы до того, как врачи-гематологи начнут выполнять анализы мазков крови. Поэтому необходим прибор, выдерживающий высокие пиковые нагрузки [3].

Возможность подсчета ретикулоцитов

Одним из компонентов развернутого гематологического анализа крови является подсчет ретикулоцитов – молодых эритроцитов, образующихся в костном мозге. Существует два способа подсчета ретикулоцитов: ручной и автоматизированный.

Ручной метод довольно трудоемкий, недостаточно стандартизирован и отличается невысокой воспроизводимостью из-за невозможности адекватной оценки большого числа клеток.

Автоматизированный подсчет с анализом более 40 тыс. клеток образца крови обеспечивает достоверность результата и одновременно повышает информативность оценки абсолютного и относительного содержания ретикулоцитов в пробе крови [4].

Особенность пробоподготовки

По способу подготовки проб гематологические анализаторы делятся на две большие группы.

К первой относятся полуавтоматические, в которых подготовка проб отделена непосредственно от анализа и производится в специальных приборах – дилютерах.

Вторая группа - полностью автоматические – в свою очередь делится на еще две группы. Анализаторы первой группы позволяют работать только с предразведенной кровью, вторая группа анализаторов может работать непосредственно с цельной кровью [5].

Возможность дифференцировки лейкоцитов

Высокотехнологические гематологические анализаторы способны осуществлять дифференцированный счет лейкоцитов по 5-ти (5Diff) основным популяциям, используя различные принципы дифференцирования клеток: нейтрофилы, эозинофилы, базофилы, моноциты и лимфоциты,

оценивать наличие незрелых гранулоцитов, анализировать ретикулоциты и их субпопуляции, проводить оценку стволовых гемопоэтических клеток и субпопуляций лимфоцитов [6].

Заключение

В результате аналитического обзора критериев классификации анализаторов крови были выявлены предпочтительные параметры разрабатываемого устройства. Так, разрабатываемый анализатор должен исследовать свыше 52 параметров; для проведения анализа достаточно 165 мкл пробы крови; производительность устройства должна превышать 125 проб/час; в анализаторе должен быть предусмотрен автоматизированный подсчет ретикулоцитов и лейкоцитов; для минимизации времени на подготовку пробы в устройство должна быть встроена пробоподготовка с необходимыми реагентами.

Библиографический список

1. Состав и функции крови [Электронный ресурс] URL: <https://studarium.ru/article/92> (Дата обращения 07.05.22)
2. Агаджанян Н.А., Торшин В.И., Власова В.М. Учебник для студентов вузов, обучающихся по медицинским специальностям. 2-е издание, исправленное. М.: РУДН, 2001. – 408 с.
3. Гематологические анализаторы [Электронный ресурс] URL: <http://medtehural.ru/laboratory/equipment/gematologicheskije-analizatory> (Дата обращения 07.05.22)
4. Критерии для выбора гематологического анализатора [Электронный ресурс] URL: <https://stormoff.ru/mediacenter/articles/vybor-gematologicheskogo-analizatora/> (Дата обращения 07.05.22)
5. Гематологические анализаторы - с функцией подсчета ретикулоцитов анализатора [Электронный ресурс] URL: https://medeq.ru/store/laboratoriya/gematologiya/gematologicheskije-analizatory/filters/podschet_retikulocitov (Дата обращения 07.05.22)
6. Гематологические анализаторы [Электронный ресурс] URL: <https://erbarus.com/products/gematologiya/> (Дата обращения 07.05.22)

УДК 621.3.087.92

РОЛЬ АЦП В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

А.М. Абрамов

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Показана роль АЦП в области критически важной электроники. Рассмотрена отрасль аэрокосмическая, автономного управления транспортными средствами и киберфизических систем.

Ключевые слова: полупроводники, АЦП, ЭДСУ, киберфизические системы.

ROLE OF ADC IN MODERN TECHNOLOGIES

A.M. Abramov

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The role of ADC in the field of critical electronics is shown. The branch of aerospace, autonomous control of vehicles and cyber-physical systems is considered.

Key words: *semiconductors, ADC, Fly-by-Wire, cyber-physical systems.*

Полупроводники обладают уникальными свойствами проводимости электричества. Эта особенность делает полупроводники ключевым элементом современных технологий и оказывает значительное влияние на привычный образ жизни людей. Без полупроводников компьютеры, смартфоны, медицинское диагностическое или хирургическое оборудование и многие другие вычислительные устройства просто бы не существовали.

Так же, постоянный прогресс в полупроводниковой промышленности дает возможность развиваться новым технологиям в различных отраслях: аэрокосмической, автономного управления транспортными средствами, киберфизических систем и многим другим.

1. Аэрокосмическая отрасль.

Современные самолеты во время полета работают под управлением электродинамической системы управления (ЭДСУ, англ. Fly-by-Wire), которая является электронной. Это позволяет использовать сложные алгоритмы управления, ранее физически невозможные для человека.

Для предотвращения сбоев, которые могут вывести самолет на критический режим полета, в большинство ЭДСУ встроено трех- или четырехкратное резервирование, то есть при выходе из строя части данной системы управления автоматически включается резервный контур управления [1]. Кроме того, каждый из компьютеров имеет функцию самодиагностики, контролируя процессор, электропитание, входные и выходные данные, обратные связи. Все это обеспечивает многократное резервирование системы. Система умнее и быстрее, полностью контролирует действия пилота и не позволяет выйти на опасные режимы.

В электронике управления современных самолетов важную роль играет АЦП и ЦАП, которые являются связующими элементами между цифровыми компьютерами, датчиками контроля и актуаторами аэродинамических поверхностей (рулей и взлетно-посадочной механизации крыла).

2. Отрасль автономного управления транспортными средствами.

В современном автомобиле используется в среднем около 500 интегральных микросхем. Это связано с тем, что разработчики стремятся устранить основную причину возникновения аварийных ситуаций на дороге – человеческий фактор.

По некоторым оценкам, почти 1,25 миллиона человек ежегодно погибают в автомобильных авариях. Умный автомобиль в будущем должен заменить

человеческий фактор умной электроникой и значительно снизить этот показатель. Использование в электронике управления автомобилем АЦП, датчиков и исполнительных механизмов позволит решить эту задачу.

3. Киберфизические системы (англ. cyber-physical systems, или CPS)

CPS представляет собой сложную распределенную систему, управляемую или контролируруемую компьютерными алгоритмами, тесно интегрированную с Интернет и его пользователями. Ее технологической основой явилась технология интернет вещей (Internet of Things, или IoT). В системах CPS виртуальный и физический уровни взаимосвязаны (рис. 1).



Рис. 1 – Взаимодействие в CPS виртуального и реального уровня

На физическом уровне интеллектуально развернутая сеть датчиков и умных гаджетов собирает разнообразную информацию и тем самым фактически управляет физическим миром. Вся аналоговая информация от датчиков преобразуется в цифровой код и отправляется на вход виртуального уровня, на котором происходит принятие решений. Далее полученная информация через исполнительные механизмы снова поступает на физический уровень для управления и контроля объектами физического мира.

В будущем для повсеместного внедрения кибер-физических систем потребуется большое количество микросхем АЦП для связи реального и виртуального мира [2].

Библиографический список

1. Литвинова А.В. Характеристика и роль электродистанционной системы управления самолетом // X Международная научно-практическая конференция. Санкт-Петербургский Государственный Университет

Гражданской Авиации, 2021. С 184-194.

2. Dr. Degang Chen. Accurate Linearity Testing For High Performance Data Converters Using Significantly Reduced Measurement Time And Relaxed Instrumentation // IEEE Instrumentation and Measurement Society.

УДК 621.3.087.92

НЕДОСТАТКИ ОБЩЕПРИНЯТОГО ГИСТОГРАММНОГО МЕТОДА ИСПЫТАНИЙ АЦП

А.М. Абрамов

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрен стандартный гистограммный метод испытаний АЦП. Приведены графики дифференциальной и интегральной нелинейности. Указаны основные недостатки метода.

Ключевые слова: АЦП, дифференциальная нелинейность, интегральная нелинейность, гистограммный метод.

DISADVANTAGES OF THE GENERALLY ACCEPTED HISTOGRAM ADC TEST METHOD

A.M. Abramov

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The standard histogram test method for ADCs is considered. Graphs of differential and integral nonlinearity are given. The main disadvantages of the method are indicated.

Key words: ADC, DNL, INL, histogram method.

Стандартный метод испытаний АЦП заключается в формировании образцового сигнала (линейно нарастающего или синусоидального напряжения) с помощью прецизионного испытательного оборудования и подачи его на вход испытываемого АЦП [1, 2]. АЦП преобразует входное аналоговое напряжение в цифровой код, по числу выпадений которого определяется дифференциальная (DNL) и интегральная (INL) нелинейность (рис. 1).

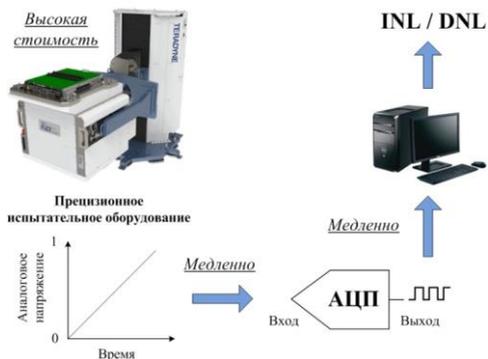


Рис. 1 – Стандартный метод испытания АЦП

На рисунке 2 показан процесс преобразования линейно нарастающего напряжения в цифровой код и определение DNL и INL на примере 3-х разрядного АЦП.

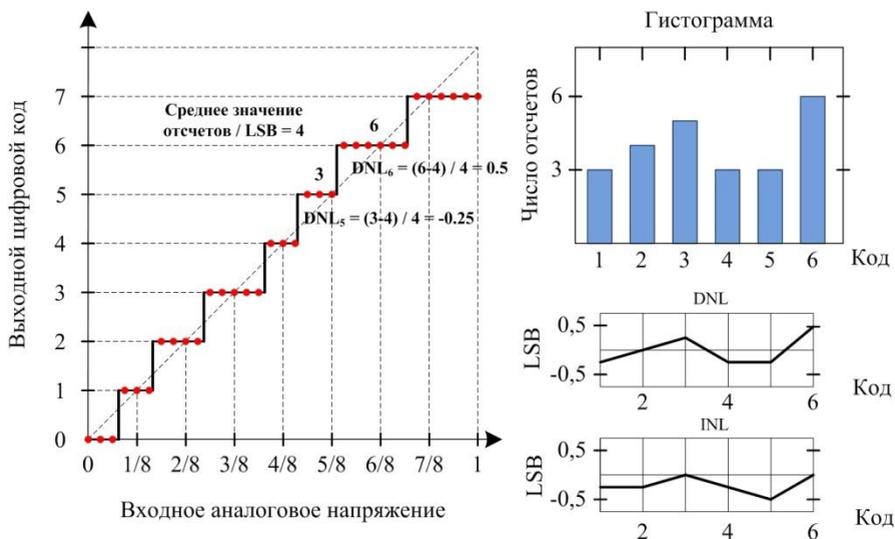
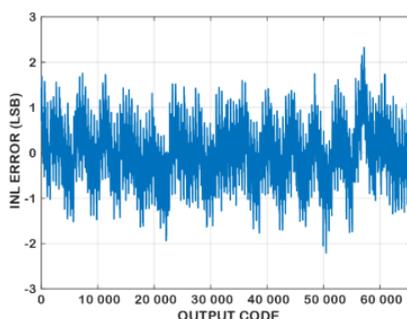
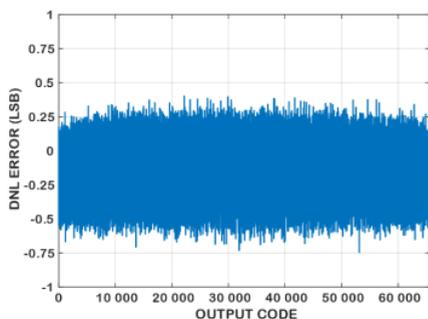


Рис. 2 – Стандартный метод испытаний на примере 3-х разрядного АЦП

При испытаниях АЦП более высокого разрешения графики DNL и INL представлены на рисунке 3.



а) Дифференциальная нелинейность

б) Интегральная нелинейность

Рис. 3 – DNL и INL 16 разрядного АЦП от компании Миландр

Недостатки общепринятого **гистограммного метода испытаний АЦП**:

1. Алгоритм метода рассматривает каждый интервал квантования АЦП как независимую переменную.
2. Высокая зависимость метода от точности входного сигнала, причем алгоритм метода не использует информацию о входном сигнале.
3. Необходимы повторные измерения для каждого интервала квантования чтобы усреднить шум.

В случае тестирования высокоразрядных АЦП первый и третий пункт значительно увеличивают время испытаний, а условия второго пункта могут быть физически невыполнимы.

Библиографический список

1. Аналого-цифровое преобразование / под ред. У. Кестера. – М.: Техносфера, 2007. – 1016 с.
2. Dr. Degang Chen. Accurate Linearity Testing For High Performance Data Converters Using Significantly Reduced Measurement Time And Relaxed Instrumentation // IEEE Instrumentation and Measurement Society.

УДК 681.586.5

ПОДГОТОВКА ВОЛОКОННО - ОПТИЧЕСКИХ КОЛЛЕКТОРОВ

А.В. Рочагов, А.В. Жолобов, И.С. Явелов

ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук (ИМАШ РАН), г. Москва

В работе рассмотрены основные оптические схемы волоконно-оптических коллекторов, используемых для создания датчиков кардиомеханосигналов. Показано, что наиболее эффективной является схема близкая к мозаичной. Приведена фотография рабочего торца коллектора с рандомизированной

укладкой волокон.

Ключевые слова: датчики кардиомеханосигналов, волоконно-оптические коллекторы, рандомизация.

PREPARATION OF FIBER-OPTIC COLLECTORS

A.V. Rochagov, A.V. Zholobov, I.S. Yavelov

Institute of Machines Science named after A.A. Blagonravov
of the Russian Academy of Sciences (IMASH RAN), Moscow

The paper considers the main optical circuits of fiber-optic collectors used to create sensors of cardiomechanical signals. It is shown that the most effective scheme is close to the mosaic one. A photo of the working end of the collector with randomized fiber stacking is shown.

Key words: sensors of cardiomechanical signals, fiber-optic collectors, randomization.

Основным элементом датчиков кардиомеханосигналов (в том числе и пульсовых волн (ПВ)) является волоконно - оптический коллектор - трехполюсник. Поэтому остановимся на методике подготовки коллекторов с неравномерным (рандомизированным) распределением волокон. В сочетании с мембранной головкой он фиксирует перемещения внутренней поверхности мембраны, заполированной до зеркального отражения. Существует несколько способов раскладки волоконно - оптического жгута по схеме, образующей на общем торце распределение близкое к мозаичному. Основное требование к раскладке коллектора – обеспечить достаточно равномерное перемешивание торцов излучающих и приемных волокон. Степень равномерности перемешивания (рандомизации) торцов световодов определяет качество характеристики преобразователя, т.е. величину линейных участков, на которых работает датчик в целом.

Большинство экспериментальных задач требуют от преобразователей физических величин – датчиков не только высокой чувствительности, но и достаточного пространственного и временного разрешения и, часто, работы в экстремальных условиях (высокие температуры, ударные нагрузки, радиационное воздействие и т.д.) [1-3].

С этих позиций ВОИП-зонд является перспективным датчиком. С точки зрения временного разрешения его характеристики линейны, начинается с 0 Гц до сверхвысоких частот. Поэтому датчики работают как в области стационарных процессов и инфрачастот, так и в области сверхбыстрых процессов.

Пространственное разрешение ВОИП-зондов определяется в основном диаметром единичного волокна (10, 25, 50 мкм) и датчик чувствителен к долекронным перемещениям.

На рисунке 1 приведены варианты оптических схем волоконно-оптических датчиков [4,5].

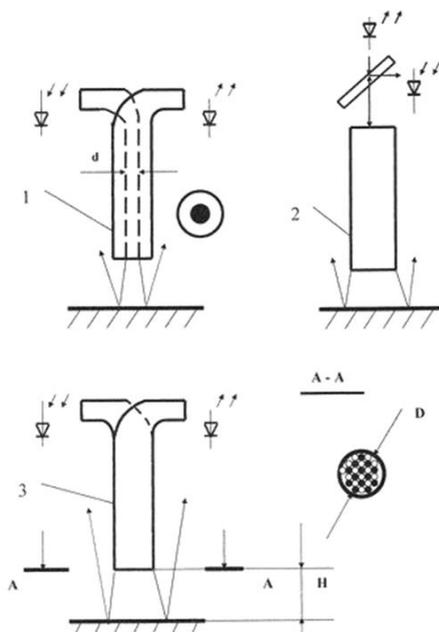


Рис. 1 – Оптические схемы датчиков: 1- коаксиальная схема; 2 – схема со светоделителем; 3 – мозаичная схема

В схеме 2 функции осветительного и приёмного каналов выполняются всеми световодами. В остальных схемах одна группа световодов относится к осветительному каналу, другая к приёмному.

В схеме 1 (коаксиальная схема) наиболее экономно используется световой поток излучателя и обеспечивается максимальный сигнал на выходе при больших величинах H . В схеме 3 (мозаичная схема) часть энергии, отражённая от мишени, не воспринимается как полезный сигнал при значительных величинах зазора, но эта схема более эффективна при малых значениях H . Схема 3 представляет большой практический интерес для формирования датчиков физических величин, поэтому подробно исследовалась экспериментально. Практически оптическую схему, близкую к схеме 3, можно получить при разводке световодов (трехполюсников) с выравниванием освещенности по торцу. При этом оптическая схема, получаемая на торце головки трехполюсника - коллектора, имеет случайное распределение осветительных и приемных волокон и близка к мозаичной. Характеристики ВОИП-зондов с мозаичной схемой приведены на рисунке 2.

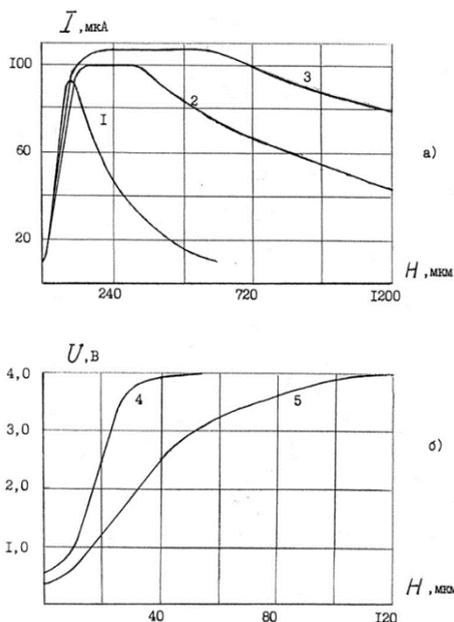


Рис. 2 – Характеристики коллекторов с нерегулярной разводкой волокон:
 а - влияние диаметра жгута – 0.3(1), 1.5(2), 2.5(3) мм,
 б - влияние диаметра волокон на восходящую ветвь кривой – 25(4), 50(5) мкм

При подготовке коллекторов, которые в дальнейшем будут использоваться для изготовления датчиков, желательно иметь возможность произвести оценку их качества и пригодности еще до подключения к измерительной аппаратуре и сопряжения с рабочей мишенью.

Это возможно сделать путем визуального контроля рабочего торца коллектора при достаточном увеличении. Для этого был приспособлен микроскоп мод. «Levenhuk», позволяющий наблюдать торец волокон в компьютере и через камеру делать его съемку.

Приведем в качестве примера рабочий фрагмент наблюдаемого торца коллекторов при увеличении в 12 раз (рисунок 3).

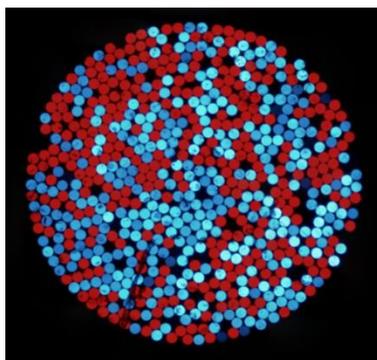


Рис. 3 – Торец коллектора при подсветке каналов синим и красным цветом

По результату круговой съемки можно произвести разбраковку жгутов по количеству поломанных волокон и проценту пустот, не заполненных волокнами, а также визуально определить степень рандомизации.

Библиографический список

1. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников. Под ред. Э. Удда: - М. : Техносфера, 2008.- 520 с.
2. Джексон Р.Г. Новейшие датчики 2-е изд., доп., М.: Техносфера, 2008.- 400 с.
3. Дианов Е.М. Волоконная оптика: сорок лет спустя. Квантовая Электроника. 2010, т. 40, №1.
4. Явелов И.С., Каплунов С.М., Даниелян Г.Л. Волоконно-оптические измерительные системы. Прикладные задачи // Под ред. д.т.н. С.М. Каплунова.- М. - Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2010.- 304 с.
5. Явелов И.С. Механопульсография и основные феномены сердечно - сосудистой системы. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2020. – 196 с.

УДК 612.135:615.47

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ В МИКРОЦИРКУЛЯТОРНО-ТКАНЕВЫХ СИСТЕМАХ ТЯЖЕЛОАТЛЕТОВ ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

И.Ю. Власов¹, Ю.И. Локтионова¹, Е.В. Жарких¹, Г.М. Бойко², И.В. Быкова²,
Ф.Б. Литвин³, А.В. Дунаев¹

¹Научно-технологический центр биомедицинской фотоники,

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел

²Брянский государственный технический университет, г. Брянск

³Смоленский государственный университет спорта, г. Смоленск

В работе рассмотрены результаты оценки изменений параметров микроциркуляторно-тканевых систем у спортсменов-тяжелоатлетов, измеренных методами лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и флуоресцентной спектроскопии (ФС). Были выявлены адаптационные изменения в системе микроциркуляции крови как результат реакции организма на физическую нагрузку, а именно повышение температуры и усиление кровотока.

Ключевые слова: *лазерная доплеровская флоуметрия, флуоресцентная спектроскопия, микроциркуляторно-тканевые системы, микроциркуляция крови, тренировочный процесс, спорт*

ASSESSMENT OF CHANGES IN MICROCIRCULATORY-TISSUE SYSTEMS IN WEIGHTLIFTERS DURING EXERCISE

I.Yu. Vlasov¹, Yu.I. Loktionova¹, E.V. Zharkikh¹,

G.M. Boiko², I.V. Bykova², F.B. Litvin³, A.V. Dunaev¹

¹Research and development center of biomedical photonics,

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

²Bryansk State Technical University, Bryansk

³Smolensk State Academy of Physical Education, Smolensk

The study considers the results of evaluation of the changes in microcirculatory-tissue systems parameters in weightlifters measured by laser Doppler flowmetry (LDF) and fluorescence spectroscopy (FS) methods. Adaptive changes in microcirculatory bed, namely increase in temperature and increased blood flow, were detected as a result of the body's response to physical activity.

Key words: *laser Doppler flowmetry, fluorescence spectroscopy, microcirculatory-tissue systems, blood microcirculation, training process, sport*

На сегодняшний день проблема результативности тренировочного процесса обусловлена отсутствием объективного контроля функционального состояния организма, в частности параметров микроциркуляторного кровотока. Возможным решением может стать использование методов лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и флуоресцентной спектроскопии (ФС) и дальнейший анализ полученных данных, что позволило бы повысить результативность тренировок, оптимизировать индивидуальную нагрузку для каждого из спортсменов [1]. Целью исследования явилась оценка реакции организма на физическую нагрузку, испытываемую спортсменами-тяжелоатлетами в течение тренировочного процесса.

В настоящем исследовании использовался метод ЛДФ, основанный на зондировании тканей инфракрасным лазерным излучением и анализе обратно отраженного от эритроцитов света. Метод ЛДФ позволяет оценить колебательные процессы в микроциркуляторном русле: эндотелиальный ($A_{\text{э}}$, 0,01-0,021 Гц), нейрогенный ($A_{\text{н}}$, 0,021-0,05 Гц), миогенный ($A_{\text{м}}$, 0,05-0,15

Гц), дыхательный (A_d , 0.15-0,6 Гц) и сердечный (A_c , 0.6-2 Гц)[2]. Также применялся метод ФС, при котором анализируется флуоресценция живых тканей, являющаяся ответной реакцией на монохроматическое световое излучение, что позволяет оценивать состояние тканевого кислородного метаболизма

Исследование проводилось на четырех условно-здоровых спортсменах-тяжелотлетцах: 2 волонтерах мужского пола и 2 женского, средний возраст – 20 ± 5 лет. Измерения длились по 7 минут, проводились на этапах до (До), сразу после физической нагрузки (После) и через 30 минут после окончания тренировки (После 30 мин). Силовая нагрузка на каждой тренировке распределялась следующим образом: 70% уделялось на мышцы нижних конечностей и тазового пояса, остальные 30% - на плечевой пояс и верхние конечности. Спортсмен располагался лежа, портативные устройства для анализа микроциркуляции крови «ЛАЗМА-ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА», Москва, Россия) закреплялись на внешних сторонах предплечий и на внутренних сторонах голеней.

На рисунке 1 представлены графики измеренных параметров, разделенные по периодам и зонам измерения.

После осуществления физической нагрузки у исследуемых происходит увеличение показателя микроциркуляции (ПМ), что говорит об увеличении интенсивности кровотока во время исследования. Время до начала снижения этого параметра до уровня состояния покоя индивидуально для каждого из волонтеров. Амплитуды сердечных колебаний (A_c) статистически значимо увеличиваются у всех волонтеров сразу после тренировки и на этапе «После 30 мин», что ассоциировано с увеличением притока артериальной крови в микроциркуляторное русло. Наблюдается тенденция возрастания амплитуд флуоресценции НАДН ($A_{\text{НАДН}}$) в руках на этапах «После» и «После 30 мин», что может свидетельствовать о нехватке кислорода для окисления НАДН в следствие его активного поглощения тканями. Время восстановления параметра индивидуально для каждого из спортсменов.

Также были получены данные по другим параметрам. Так, возросли амплитуды дыхательных осцилляций (A_d) во всех областях исследования на этапах «После» и «После 30 мин», что может являться следствием увеличения экскурсии грудной клетки. Температура (T) возрастает у всех добровольцев после тренировки, что происходит из-за физической нагрузки, усиливающей кровоток в конечностях. Эффект сохраняется и на этапе «После 30 мин». Из оцениваемых амплитуд активных колебаний наиболее заметна тенденция изменения миогенных осцилляций (A_m), которые обусловлены состоянием мышечного тонуса прекапилляров, регулирующим приток крови в нутритивное русло. В ногах повышение их амплитуд более ярко выражено.

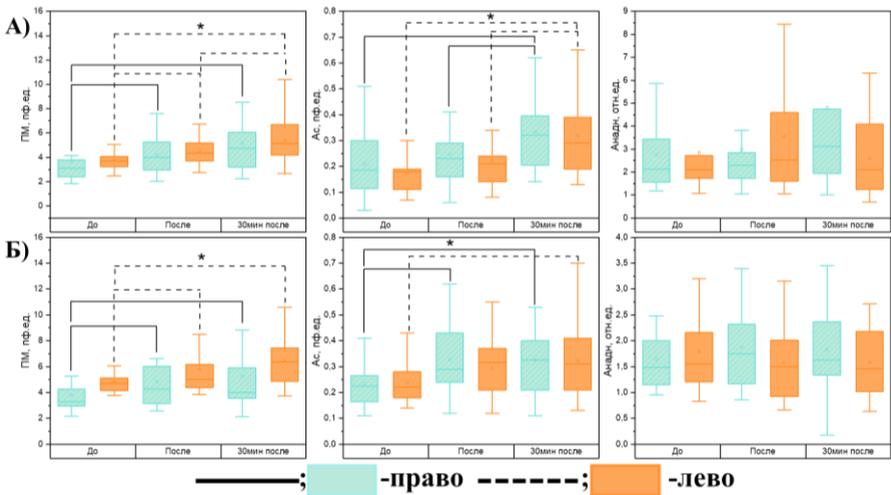


Рис. 1 – Показатель микроциркуляции, сердечные осцилляции и амплитуда флуоресценции НАДН на разных стадиях тренировочного процесса (А – предплечья; Б – голени)

* – статистически значимое различие (тест Манна-Уитни, $p < 0,05$)

Таким образом, в результате анализа измеренных данных были зафиксированы изменения в микроциркуляторно-тканевых системах спортсменов, являющиеся реакцией организма на физическую нагрузку. Продолжение исследований с использованием методов ЛДФ и ФС позволит сравнить изменения в микроциркуляторном русле в зависимости получаемой нагрузки, где объективным критерием станет результат выступления спортсмена на различных соревнованиях.

Библиографический список

1. Дунаев А.В. Мультимодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека: монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2022. – 440 с.: ил.
2. Крупаткин А.И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: Колебания, информация, нелинейность. Руководство для врачей. Изд. 2.е. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 496 с.

ФОТОИОНИЗАЦИОННОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ В ДЫХАТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Н.И. Иванова

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь

Описанные измерительные установки, предназначены для определения концентрации биомаркеров в процессе дыхательной диагностики. Рассмотрена измерительная установка, предназначенная для определения микроконцентрации аммиака и гексана, а также микроконцентраций серосодержащих веществ в процессе дыхания для выявления различных заболеваний. Даны их схемы, а также описана их работа.

Ключевые слова: биомаркер, дыхательная диагностика, фотоионизация, детектор, контактная разность потенциалов, измерительная установка.

PHOTOIONIZATION DETECTION IN RESPIRATORY DIAGNOSTICS

N.I. Ivanova

Tver State Technical University, Tver

The described measuring devices are designed to determine the concentration of biomarkers in the process of respiratory diagnostics. A measuring device designed to determine the microconcentrations of ammonia and hexane, as well as microconcentrations of sulfur-containing substances in the process of respiration for the detection of various diseases is considered. Their schemes are given, as well as their work is described.

Keywords: biomarker, respiratory diagnostics, photoionization, detector, contact potential difference, measuring device.

В настоящее время интенсивно развиваются разработки, связанные с применением скрининговых методов, отвечающих следующим требованиям: неинвазивность, невысокая стоимость, возможность выполнения процедуры врачами общей практики и др. К таким методам относится анализ выдыхаемого газа человека.

В нормальном выдохе человека находится около 1000 летучих соединений, в том числе около 400 органических, таких как пентан, хлорметан, бензол. Также в выдыхаемом газе можно найти следы от двухатомных молекул типа водорода, окислов углерода и азота до многоатомных алифатических и ароматических углеводородов [1]. Появление этих веществ связано с разнообразием процессов, происходящих в организме человека и несущих информацию о возникновении патологических процессов. Данные о таких веществах и их концентрации являются ценными для диагностики некоторых заболеваний. В таблице 1

приведены биомаркеры, присутствующие в выдыхаемом газе человека и сопутствующие заболевания [2].

Таблица 1

Газообразные молекулы в выдыхаемом газе человека
и их диагностическая значимость

№	Биомаркер	Заболевания	Концентрация
1	Диоксид углерода	Цирроз печени	> 4 %
2	Моноксид углерода	Анемия	> 2 %
3	Оксид азота	Астма; инфекция верхних дыхательных путей; ринит; воспалительные процессы в желудке (гастрит)	10 – 100 ppb
4	Ацетон	Тяжелая сердечная недостаточность; рак легкого	4 – 20 ppm
5	Аммиак	Гепатит, цирроз печень, токсический гепатит; рак легкого	> 1 ppm
6	Метан	Расстройства желудочно-кишечного тракта	> 5 %

Из таблицы 1 видно содержание аммиака в выдыхаемом газе свидетельствует о том, что человек болен гепатитом или имеет заболевания, связанные с раком легких. Определение состава выдыхаемого газа – из сложных аналитических задач. В настоящее время для этого используются газовая хроматография, масс-спектропия, электрохимические и хемилюминесцентные датчики, приборы инфракрасной, оптико-акустической и лазерной спектроскопии. Общим недостатком этих методов является то, что они представляю собой сложные системы измерений, что не позволяет использовать их в медицинских учреждениях. Все вышесказанное определяет актуальность исследований выдыхаемого человеком газа.

Среди хорошо известных детекторов газов и паров выгодно выделяются фотоионизационные детекторы [3, 4]. Принцип действия этих детекторов основан на ионизации газа посредством ультрафиолетового излучения. Их основными достоинствами являются высокая чувствительность и универсальность. Однако одним общим недостатком таких детекторов является наличие источника питания, что усложняет конструкцию устройства. В статье [5] рассматривается фотоионизационный детектор, в котором сбор ионов, образующихся в камере, осуществляется под действием контактной разности потенциалов. Разность потенциалов возникает из-за соединения двух электродов камеры, изготовленных из разных металлов.

Этот детектор получил название – фотоионизационный генераторный детектор (ФИГД).

В этом докладе будут представлены различные применения ФИГД для исследований выдыхаемого газа человека. Модификацией ФИГД является дифференциальный ФИГД (ДФИГД) [6]. На основе данного детектора и использования метода преобразования анализируемой среды была создана измерительная установка для определения биомаркеров, в выдыхаемом газе человека. Схема устройства представлена на рис. 1.

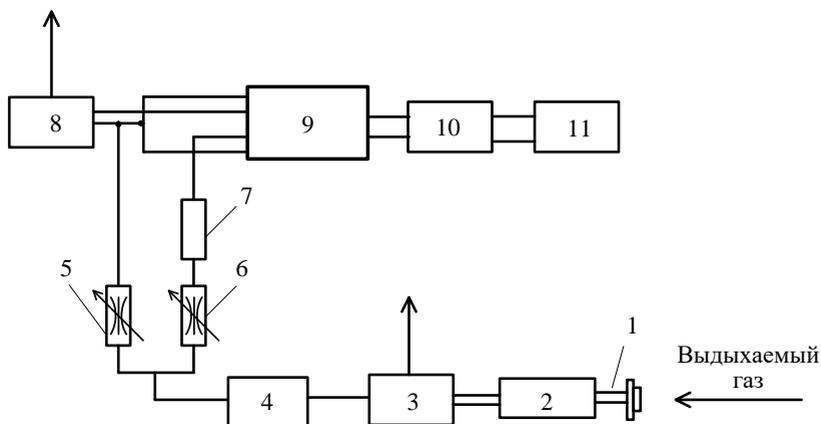


Рис. 1 – Структурная схема устройства для определения биомаркеров, созданная на базе ДФИГД: 1 – мундштук; 2 – соединительная трубка; 3 – коллектор для сбора слюны; 4 – фильтр-осушитель; 5 и 6 – переменные дроссели; 7 – фильтр-поглотитель; 8 – побудитель расхода; 9 – ФИГД; 10 – электрометрический усилитель; 11 – компьютер

Устройство состоит из блока подготовки и подачи анализируемого газа, а также блока измерения и регистрации сигнала. Блок подготовки газа и подачи состоит из мундштука, соединительной трубки, коллектора для сбора слюны, фильтра-осушителя газового потока, переменных дросселей, фильтра-поглотителя определяемого компонента анализируемого потока и побудителя расхода. Блок измерения и регистрации включает в себя ДФИГД, электрометрический усилитель и компьютер. Детектор состоит из двух идентичных камер, отделенных друг от друга кварцевым окном, и ультрафиолетовой лампы. Верхняя камера является измерительной, а нижняя – сравнительной.

Работа устройства осуществляется следующим образом. Человек резко выдыхает в мундштук, затем выдыхаемый газ через соединительную трубку поступает в коллектор для сбора слюны и конденсатор. Малая часть выдыхаемого газа из коллектора поступает в осушитель потока, а затем через переменные дроссели в камеры ДФИГД. С помощью побудителя расхода

через камеры детектора протекают газовые потоки. В измерительную камеру поток газа поступает непосредственно через переменный дроссель, а в сравнительную – через дроссель и фильтр поглотитель определяемого компонента. В камерах ДФИГД молекулы газа ионизируются ультрафиолетовым излучением, создаваемым ультрафиолетовой лампой. Поскольку электроды камер изготовлены из разных металлов, то возникает контактная разность потенциалов [7]. Под действием этой разности потенциалов происходит сбор ионов в измерительной и сравнительной камерах, вследствие этого между их электродами протекает ионный ток, что определяет сигналы этих камер. Так как камеры детектора электрически включены встречно, то результирующий сигнал равен разности сигналов двух камер. Сигналы измеряются с помощью электрометрического усилителя и регистрируются компьютером, оснащенным аналого-цифровым преобразователем.

В экспериментах установка использовалась для измерения концентраций аммиака и гексана порядка долей р.р.в. с погрешностью $\pm 8\%$. Наличие в выдыхаемом газе человека аммиака и гексана определенной концентрации говорит о том, что у человека имеются заболевания цирроз печени или рак легкого.

При диагностике заболеваний печени в выдыхаемом газе человека принято определять концентрацию серосодержащих соединений. На рис. 2 представлено устройство, построенное на базе ФИГД, для определения микроконцентраций серосодержащих веществ [8].

Устройство содержит следующие блоки: подготовки газов, аналитический и обработки информации. В состав блока подготовки газов входит мундштук, соединительная трубка, коллектор для сбора слюны и конденсата, фильтр для осушки газового потока, переменный дроссель и компрессор. Аналитический блок содержит ФИГД. Детектор представляет собой камеру, образованную двумя электродами из разнородных металлов. В качестве источника ионизации используется ультрафиолетовая лампа. Один из электродов покрыт слоем из палладийсодержащего материала. Блок обработки информации включает в себя электрометрический усилитель и регистратор сигнала. Детектор дополнительно содержит нагреватель с источником питания и термоизолирующий цилиндр. Наличие цилиндра из теплоизоляционного материала возможность использования ультрафиолетовой лампы при высоких температурах.

При диагностике выдыхаемый газ через мундштук и соединительную трубку поступает в коллектор для сбора слюны и конденсата. Часть анализируемого газа поступает в осушитель потока, а затем с помощью компрессора в камеру детектора. Температура камеры ФИГД поддерживается равной $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ для обнаружения серосодержащих веществ, в опытах определялся этилмеркаптан. Молекулы поступившего газа ионизируются ультрафиолетовым излучением. Из-за различных работ выхода электронов из электродов возникает контактная разность потенциалов, под

действием которой происходит сбор ионов. Между электродами ФИГД протекает ионный ток. Сигнал детектора измеряется электрометрическим усилителем и передается к регистратору. Получаемый сигнал пропорционален микроконцентрации серосодержащих веществ. Установлено, что разработанное устройство позволяет измерять микроконцентрацию серосодержащих веществ (этилмеркаптана) порядка долей р.р.в. с погрешностью $\pm 10\%$.

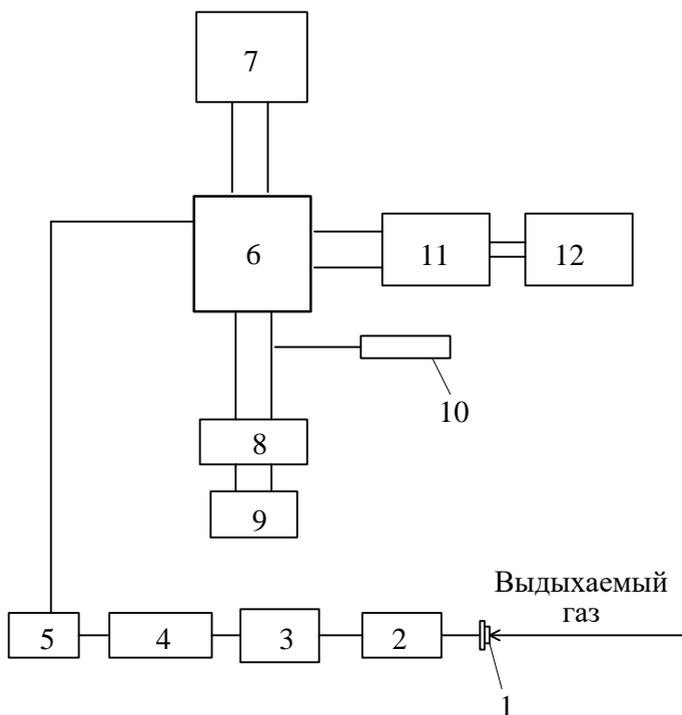


Рис. 2 – Схема измерительной установки: 1 – мундштук; 2 – соединительная трубка; 3 – коллектор для сбора слюны и конденсата; 4 – фильтр – осушитель; 5 – дроссель; 6 – детектор; 7 – нагреватель; 8 – ультрафиолетовая лампа; 9 – источник питания лампы; 10 – компрессор; 11 – электрометрический усилитель; 12 – компьютер

Таким образом, разработанные устройства открывают новые возможности в дыхательной диагностике. Они обладают такими достоинствами как надежность, компактность, высокую чувствительность и неинвазивность.

Библиографический список

1. *Hibbard T., Killard A.J.* Breath ammonia levels in a normal human population study as determined by photoacoustic la-ser spectroscopy // *J. Breath Res.* 2011. V. 5, № 3. P. 1—8.
2. Степанов Е.В. Методы высокочувствительного газового анализа молекул-биомаркеров в исследованиях выдыхаемого воздуха // *Труды института общей физики им. А.М. Прохорова.* 2005. Том 61. С. 5-47.
3. Бражников В.В. Детекторы для хроматографии М.: Машиностроение. 1992. 320 с.
4. Будович В.Л. Фотоионизационный детектор с регулируемой селективностью для капиллярной газовой хроматографии / В.Л. Будович, Т.В. Адамия, И.В. Бондарев // *Заводская лаборатория.* – 1993. – № 5. – С. 17 – 20.
5. Пат. 64345 Российская Федерация, МПК G01/N 27/64 / Фотоионизационный детектор газов и паров [Текст] / Илясов Л.В., Евланова Н.И.; заявитель и патентообладатель Тверской государственной технической университет. - № 2010103136/22; заявл. 02.02.10; опубл. 20.05.10, Бюл. № 14. – 5 с.
6. Ivanova N.I., Sidorov K.V. A measuring setup with a differential generator photoionization detector for determining biomarkers in exhaled gas // *Journal of physics: conference series.* – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – Вып. 1679. – С. 52039.
7. Царев Б.М. Контактная разность потенциалов М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы. 1959. 280 с.
8. Пат. 2523765 Российская Федерация, МПК G01N27/64 / Фотоионизационный детектор для газоаналитической аппаратуры [Текст] / Илясов Л.В., Евланова Н.И.; заявитель и патентообладатель Тверской государственной технической университет. - № 20121561526/22; заявл. 24.12.12; опубл. 28.05.14, Бюл. № 32. – 5 с.

УДК 615.47

**РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДРОЖАТЕЛЬНЫХ ГИПЕРКИНЕЗОВ
ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

И.Н. Бирюков, Э.А. Даминава

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург

Рассмотрена концепция разработки аппаратной части устройства для исследования дрожательных гиперкинезов верхних конечностей. Предложена структурная схема устройства, приведено словесное описание алгоритма работы аппаратной части, а также представлены результаты измерения биомедицинских сигналов.

Ключевые слова: регистрация биомедицинских сигналов, резистивный чувствительный элемент, тремор, нервная система.

DEVELOPMENT OF DEVICE HARDWARE FOR INVESTIGATIONS OF TREMBLING HYPERKINESIS OF THE UPPER LIMB

I.N. Biryukov, E.A. Daminova

Saint Petersburg Electrotechnical University "Leti", Saint Petersburg

The concept of developing the hardware of a device for the study of trembling hyperkineses of the upper limbs is considered. A block diagram of the device is proposed, a verbal description of the hardware operation algorithm is given, and the results of measuring biomedical signals are presented.

Key words: biomedical signal registration, resistive sensing element, tremor, nervous system

Гиперкинез – это врожденное или приобретенное заболевание, выражающееся в неестественных самопроизвольных тиках, движениях и конвульсии отдельных групп мышц, которые не поддаются контролю человеком. причем это моторные движения не только рук, но и ног, плеч, век, мышц лица и всего тела в комплексе. Заболевание может существенно ограничить передвижения человека, нарушить его походку, сделать невозможным самообслуживание, что в свою очередь существенно ухудшает качество жизни человека [1]. Поэтому целесообразным является разработка портативного устройства для проведения диагностических манипуляций.

Целью данной работы является разработка аппаратной части устройства для исследования дрожательных гиперкинезов верхних конечностей

Для достижения обозначенной цели необходимо решить задачи, среди которых: анализ современного состояния проблемы, разработка структурной и принципиальной электрических схем, разработка алгоритма работы аппаратной части устройства, а также сборка и тестирование макета.

Разработаем концепцию структурной схемы устройства для исследования дрожательных гиперкинезов верхних конечностей. В основе структурной схемы будет лежать классическая схема обобщенной измерительной системы с некоторыми преобразованиями. Структурная схема приведена на рисунке 1.

Структурная схема состоит из трех модулей – БО, СИ, ПК. БО – биологический объект, непроизвольные движения пальцев которого, можно зарегистрировать с помощью специальных датчиков: сенсорных чувствительных элементов. СИ – средство измерения, представляющее собой двухканальную измерительную систему. Каждый канал системы, для левой и правой рук соответственно, состоит из блока датчиков, блока усилителей, фильтра, а также платы Arduino Uno. ПК – персональная микроЭВМ, на котором установлено ПО, для обработки зарегистрированных

биомедицинских сигналов.

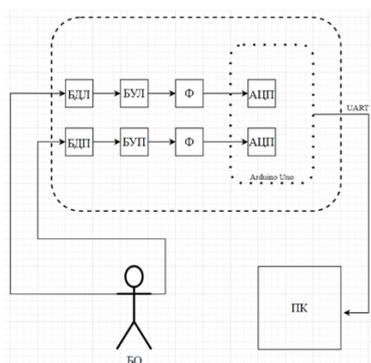


Рис. 1 – Структурная схема устройства



Рис. 2– Цилиндр с закрепленными на его поверхности датчиками

На основе структурной схемы можно предложить следующее решение для блока датчиков. Для обеспечения эргономичности устройства для пациента блок датчиков будет представлять собой цилиндр с закрепленными на его поверхности датчиками (рис. 2).

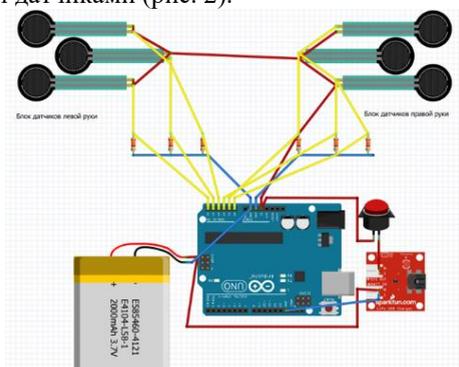


Рис. 3 – Принципиальная схема

На основе подобранных датчиков, а также структурной схемы устройства была разработана принципиальная схема аппаратной части устройства для исследования дрожательных гиперкинезов верхних конечностей (рис. 3).

Приведем словесное описание схемы проведения измерений. Этап 1: обеспечивает подключение аппаратной части устройства через кабель, USB A – USB B, к персональному компьютеру; этап 2: загрузка, обработка, компилирование программного кода устройства. После загрузки необходимо установить скорость передачи 115200 бит/с; этап 3: Пуск; этап 4: При обхвате пациентом цилиндров и взаимодействие с датчиками будут появляться расчеты на ПК; этап 5: опрос первичных преобразователей. Передача

зарегистрированных биомедицинских сигналов по UART на ПК; Этап 6: Программная обработка, анализ биомедицинских сигналов. Вывод информации на экран ПК.

Предложена цветовая маркировка отображаемых биомедицинских сигналов (рис. 4): указательный палец левой руки синий цвет, безымянный палец левой руки красный цвет, большой палец левой руки зеленый цвет, безымянный палец правой руки оранжевый цвет, указательный палец правой руки фиолетовый цвет, большой палец правой руки черный цвет.

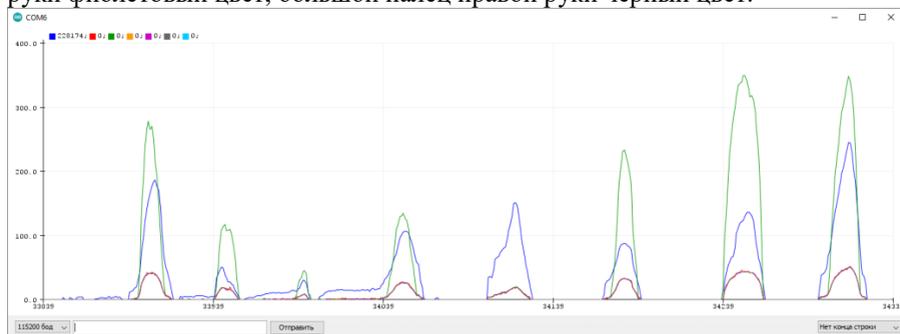


Рис. 4 – Биомедицинские сигналы гиперкинезов левой руки

Из представленных графиков можно визуальнo извлечь диагностически ценную информацию об амплитуде и частоте гиперкинеза. Таким образом, можно сделать вывод о том, что аппаратная часть устройства работает корректно и главную функцию выполняет. Конечно, в перспективе необходима доработка как средств вывода информации, так и конструктивного исполнения.

Библиографический список

1. Гиперкинезы. Прогноз невролога на лечение гиперкинеза. Характеристики, причины, симптомы // Клиника Мельниковой Е.А // [Электронный ресурс] // URL: <https://sprouting.ru/giperkinez> (дата обращения 07.03.2022)

УДК 615.47

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ ВЕРХОВОЙ ЕЗДЫ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ

Л.С. Лотоцкая, Э.А. Даминава

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Разработан аппаратно-программный комплекс для оценки эффективности воздействия иппотерапии при реабилитации детей с диагнозом ДЦП основанный на регистрации миосигналов с мышц пациента.

Ключевые слова: *иппотерапия, анализ биомедицинских сигналов, электромиография.*

DEVELOPMENT OF A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE IMPACT OF RECREATIONAL RIDING DURING REHABILITATION

L.S. Lototskaia, E.A. Daminova

Saint Petersburg Electrotechnical University "Leti"

A hardware and software package has been developed to evaluate the effectiveness of hippotherapy in the rehabilitation of children diagnosed with cerebral palsy based on the registration of myosignals from the patient's muscles.

Key words: *hippotherapy, analysis of biomedical signals, electromyography.*

Одним из актуальных направлений на рынке медицинской техники являются системы для мониторинга и оценки физиологических показателей пациента. Особую актуальность приобрели персонализированные портативные приборы мониторинга состояния организма. Одним из методов реабилитации является иппотерапия (от др.-греч. ἵπλος «лошадь») — метод реабилитации посредством адаптивной верховой езды. Данный метод реабилитации очень часто применяется при заболевании ДЦП. Детский церебральный паралич (ДЦП) – заболевание ЦНС, характеризующееся патологической двигательной активностью и аномальными поструральными нарушениями [1]. Распространенность случаев ДЦП варьируется в диапазоне от 2 до 5 случаев на 1000 родов, а в России от 2.2 до 3.3 случаев на 1000 [2].

В связи с высокой распространённостью заболевания ДЦП и актуальностью метода реабилитации по средствам оздоровительной верховой езды, становится явной необходимость улучшения аппаратной базы данного метода.

Разрабатываемый аппаратно-программный комплекс для оценки эффективности оздоровительной верховой езды при реабилитации пациентов с диагнозом ДЦП дает возможность оценить положение пациента в седле в режиме реального времени, что позволяет корректировать посадку и давать наиболее актуальные упражнения, а также прослеживать изменения мышечной активности на протяжении всего курса. Такой подход позволит ускорить появление положительной динамики и сделать как каждое занятие, так и весь курс в целом более продуктивным.

Структурная схема биотехнической системы, разработанной с применением аппаратно-программного комплекса для оценки эффективности ЛВЕ представлена на рисунке 1.



Рис. 3 – Структура биотехнической системы



Рис. 2 – Схема расположения ЭМГ-датчиков

Перед занятием на пациента надевается прибор для регистрации мио сигналов, калибруется индивидуально под каждого пациента. Затем пациент начинает занятие, сигналы с мышц по беспроводной связи передаются на персональный компьютер или планшет тренеру, который наблюдая мышечную активность корректирует проведение занятия под необходимые упражнения, дает команды по их выполнению пациенту. Также на ПК сохраняются результаты каждого занятия, в последствии накапливается база данных. Расположение датчиков для регистрации ЭМГ выбрано определенным образом, что позволяет получить максимально обширную информацию о работе мышц. Расположение датчиков представлено на рисунке 2 [3].

Для исследования мышцы выбраны таким образом, чтобы отображалась вся работа опорно-двигательного аппарата. АА-мышцы брюшного пресса, ББ-широчайшие мышцы спины, ВВ-большие ягодичные мышцы. Данная группа мышц отображает положение пациента в седле, симметрию тела при выполнении упражнений, отображает улучшение координации, а также общее состояние опорно-двигательного аппарата. СС-приводящие мышцы бедра, оценка активности этих мышц позволяет сравнить силу сжатия лошади ногами, а также сигнализировать о общем состоянии пациента (перенапряжение преимущественно этих мышц сигнализирует о стрессе, испытываемом пациентом).

Результаты предварительного тестирования аппаратно-программного комплекса для оценки ЛВЕ представлены на рисунках 3,4. Полученные данные показывают, что в данный момент времени у пациента не симметрично работают мышцы спины (правая сторона не напряжена).



Рис. 3 – Пациент во время занятия

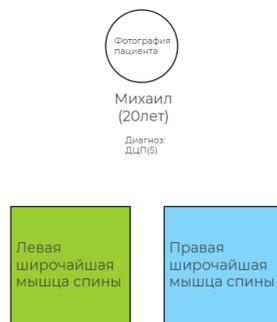


Рис. 4 – Окно программного комплекса, отражающее работу мышц

Данный аппаратно-программный комплекс уже на первых этапах тестирования подтвердил корректность работы и актуальность данных исследований. В дальнейшем его использование позволит лучше изучить заболевание ДЦП, создать новые методики реабилитации и увеличить результативность как каждой тренировки, так и комплекса в целом.

Библиографический список

1. Батышева Т.Т. Методические указания "Иппотерапия при детском церебральном параличе" [Электронный ресурс]. URL: <http://association-dcp.ru/wp-content/uploads/2013/12/Ippoterapija-pri-DCP-metodichka.pdf/> (дата обращения: 01.09.2022).
2. Слепченко Ю.А. Биомеханический, структуральный и краниосакральный аспекты механизма лечебного воздействия оздоровительной верховой езды на организм человека [Электронный ресурс]. URL: <http://poly-eco.com/articles-12.html/> (дата обращения: 01.09.2022).
3. Лотоцкая, Л. С. Концепция разработки аппаратно-программного комплекса для оценки эффективности воздействия оздоровительной верховой езды при реабилитации / Л. С. Лотоцкая // СПбНТОРЭС: труды ежегодной НТК. – 2022. – № 1(77). – С. 271-272. – EDN НМΥRKY.

УДК 681.2

УСТРОЙСТВО СБОРА ИНФОРМАЦИИ ОБ УСТАЛОСТИ ВОДИТЕЛЯ

Горбунов А.С.

Научный руководитель – Морозов В.Н., канд. техн. наук, доцент.

Рассмотрены методы реализации устройства по сбору психофизических показателей человека и схема реализации устройства.

Ключевые слова: *Анализ, обработка, состояние человека.*

DEVICE FOR COLLECTING INFORMATION ABOUT DRIVER FATIGUE

Gorbunov A.S.

Supervisor - Morozov V.N., Candidate of Technical Sciences, docent.

The methods of implementation of the device for collecting psychophysical indicators of a person and the scheme of implementation of the device are considered.

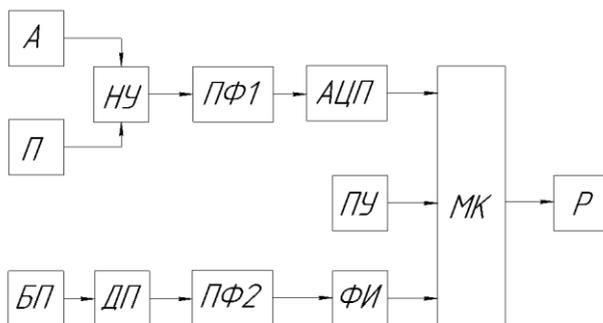
Keywords: *analysis, processing, human condition*

В данном докладе рассматривается концепция разработки и проектирование устройства позволяющего отслеживать психофизические показатели водителя для последующей обработки и предотвращения ДТП.

В настоящее время существует два варианта реализации систем контроля состояния водителя:

- это наблюдение за действиями или психофизическими показателями водителя;
- либо анализ поведения автомобиля на дороге.

Самым оптимальным методом при разработке данного устройства будет является наблюдение за действиями или психофизическими показателями водителя, так как данный метод является простым в реализации, недорогим при производстве, а также позволяет минимизировать конструкторские изменения в транспорте.



В состав блока сбора информации входят 2 канала: канал оценки биоэлектрической активности головного мозга и канал оценки частоты сердечных сокращений. Канал оценки биоэлектрической активности головного мозга содержит активный (А) и пассивный (П) электроды, нормирующий усилитель (НУ), полосовой фильтр (ПФ1), аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Канал оценки частоты сердечных сокращений состоит из источника тока (БП), датчика пульса (ДП), полосового фильтра (ПФ2), формирователя импульсов (ФИ).

Выходные сигналы, снимаемые с каналов блока сбора, поступают на входы микроконтроллера (МК), где обрабатываются и преобразуются в радиосигнал с помощью радиопередатчика (Р). Управление режимами блок анализа осуществляется с помощью пульта управления (ПУ).

Библиографический список

1. А.Э. Горев, Е.М. Олещенко - Организация автомобильных перевозок и безопасность движения – 2013 г.
2. В.В. Бонч-Бруевич, В.В. Дементенко, А.С. Кремез, Д.В.Макаев - Дистанционный контроль бодрствования водителя в рейс//Автоматизация в промышленности – 2015 г.
3. Мартяшин А. И., Шахов Э.К., Шляндин В.М. Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения – 2014 г.

УДК 621.317

НЕИНВАЗИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ТОКОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Жильников¹, Т.А. Жильников¹, В.И. Жулев²

¹Академия ФСИН России, г. Рязань

²ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрены проблемные вопросы неинвазивного исследования биологических объектов с целью определения с последующей визуализацией возможных металлических инородных включений внутри них посредством предложенного метода получения изображения границ пространственного расположения внутри биообъекта скрытых токопроводящих материалов.

Ключевые слова: *токопроводящие материалы, биологический объект, неинвазивное исследование, замкнутые вихревые индукционные объемные токи.*

NONINVASIVE RESEARCH OF BIOLOGICAL OBJECTS TO REVEAL HIDDEN CONDUCTIVE MATERIALS

A.A. Zhilnikov¹, T.A. Zhilnikov¹, V.I. Zhulev²

¹Academy of the Federal Penal Service of Russia, Ryazan

²Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The problematic issues of noninvasive research of biological objects in order to determine, with subsequent visualization of possible metallic foreign inclusions inside them using the proposed method for obtaining an image of the boundaries of the spatial location inside the biological object, hidden conductive materials are considered.

Key words: *conductive materials, biological object, noninvasive research, closed vortex induction volumetric currents.*

Возрастающие требования к повышению эффективности научных исследований приводят к необходимости разработки новых методов и средств измерений. Так, в частности, проблема неинвазивного исследования внутренней структуры биологических объектов с целью выявления пространственного положения скрытых металлических включений в организме человека, изложенная в работе [1], является одной из значимых в медицине и смежных с ней областях медицинской техники. Такие включения представляют собой либо чужеродные тела, проникшие в его ткани, органы и полости через поврежденные покровы или через естественные отверстия, либо хирургически внедренные в организм с лечебной целью протезы суставов, скрепляющие костные обломки спицы, стержни, пластины и т.п. [2]. Процедура выявления их положения в биообъекте связана со сложностями и представляет собой порой достаточно трудоемкий процесс. На данный момент решение этой проблемы осуществляется большей частью неинвазивными методами интроскопии, которые требуют осторожного применения, однако на практике проведение исследований человека данными методами не всегда возможно [3].

В качестве альтернативного решения для выявления включений все более активно используются магнитные исследования, которые в настоящее время, согласно [4], являются одним из действенных резервов повышения качества, надежности и безопасности, а также находятся на очередном витке развития.

Таким образом, применительно к неинвазивному исследованию биологических объектов с целью определения с последующей визуализацией возможных металлических инородных включений внутри них, предложен метод получения изображения границ пространственного расположения внутри биообъекта, скрытых токопроводящих материалов.

Предложенный метод основан на магнитоиндукционном методе определения дифференцированной по выбранному направлению оценки тангенциальной составляющей магнитной индукции, который детально изложен в [6]. Метод дополнен процедурой реконструкции на основе обратной проекции с предварительной фильтрацией линейных проекций перераспределенной плотности магнитного потока изначально однородного магнитного поля в результате его перераспределения, связанного с протеканиями замкнутых вихревых индукционных объемных токов в проводящем материале. Причем такие линейные проекции получаются путем

управляемого пространственного перемещения магниточувствительного рабочего органа, интегрирующего по плоскости векторную функцию поля.

Магнитное поле, проникая внутрь проводящего материала, индуцирует в нем периодическое электрическое поле, а последнее, в свою очередь, в зависимости от формы, магнитной проницаемости и проводимости проводника, а также от скорости изменения магнитного поля dB/dt , вызывает появление замкнутых вихревых индукционных объемных токов. Образовавшиеся вихревые токи протекают в определенном направлении и индуцируют собственные магнитные потоки с вектором индукции $\vec{B}_{вихр}$, которые, в соответствии с правилом Ленца, препятствуют изменению потока Φ с вектором индукции \vec{B} пронизывающего внешнего однородного магнитного поля, тем самым перераспределяя его [10].

В результате возбуждение замкнутых вихревых индукционных объемных токов приводит к неравномерному распределению пронизывающего магнитного потока по сечению электрического проводника. Так, в его центральной области вектор индукции магнитного поля вихревых токов $\vec{B}_{вихр}$ направлен навстречу (противоположно) основному магнитному потоку с вектором индукции \vec{B} , имея наибольшее значение, при этом в более дальних областях – совпадает с ним, имея меньшее значение. Впоследствии такого «вытеснения» в проводнике, находящимся во внешнем однородном периодическом магнитном поле, внутреннее поле убывает от границ (периферии) к центру электрического проводника.

Благодаря этому эффекту периодически изменяющееся во времени t магнитное поле достаточно высокой частоты при проникновении вглубь проводящего материала распределяется преимущественно в поверхностных и подповерхностных слоях на границе проводника. Причем чем выше частота f , тем меньше глубина, на которое поле в состоянии проникнуть.

Техническим результатом применения предложенного метода является расширение функциональных возможностей магнитометрии, заключающееся в получении в местах, недоступных для механического проникновения, изображения границ пространственного расположения внутри биологического объекта, скрытых инородных или конструктивно предусмотренных внедренных сплошных токопроводящих материалов.

Библиографический список

1. Жильников А.А., Жильников Т.А., Жулев В.И. Оценка разрешающей способности системы неинвазивного магнитоиндукционного исследования ферромагнитных включений биологических объектов для ограниченного числа измерений // Биомедицинская радиоэлектроника. 2017. № 7. С. 20-29.
2. Петровский Б.В. Энциклопедический словарь медицинских терминов. Т. 1. М.: Советская энциклопедия. 1982. 464 с.

3. Ремизов А.Н., Максина А.Г., Потапенко А.Я. Медицинская и биологическая физика: учеб. для вузов. М.: Дрофа. 2003. 560 с.
4. Жильников Т.А., Жулев В.И., Жильников А.А. Определение пространственного расположения скрытых токопроводящих материалов внутри биологического объекта // Биомедицинская радиоэлектроника. 2022. Т. 25. № 4. С. 39-45. DOI: 10.18127/j15604136-202204-05.
5. Жильников А.А., Жильников Т.А., Жулев В.И. Разработка и физическое обоснование реализации информационно-измерительной системы магнитоиндукционного исследования биологических объектов // Биомедицинская радиоэлектроника. 2015. № 5. С. 14-20.

СЕКЦИЯ 5. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ, РОБОТИЗИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ

АДАПТИВНОЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ СПОСОБОМ МУЛЬТИПЛЕКАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ИНФОРМАТИВНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Ефимов А.И., Самохина М.С.

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрен подход адаптивного комплексирования разномасштабных изображений путем оценки интегрально мультипликативного показателя качества изображений.

Ключевые слова: комплексирование, оптико-электронные системы, интегрально-мультипликативный показатель качества.

Одним из направлений развития оптико-электронных систем (ОЭС) является создание изделий, работающих в двух или более оптических спектральных диапазонах. В таких системах используются информационные каналы, работа которых основана на восприятии отраженной или излученной объектами наблюдаемого пространства энергии. Как правило, это системы видимого и инфракрасного диапазонов спектра.

Особенностью психофизиологических процессов восприятия визуальной информации является декорреляция изображений в пространстве и времени с целью устранения избыточных статистических связей соседних элементов изображения и смежных кадров уже в системе первичной обработки. Данная особенность позволяет использовать наиболее информативные признаки объектов и наиболее результативно закодировать информацию, которая будет передаваться в систему вторичной обработки.

Для значительного повышения информативности финального изображения необходимо использовать специфические признаки каждого изображения, полученных с разных каналов, и акцентировать внимание именно на этих признаках. Чем больше отличительных признаков будет получено в процессе наблюдения, тем информативнее будет синтезированное изображение.

Процесс объединения информации от каналов различных спектральных диапазонов называется слиянием (fusion) или комплексированием.

Одна из основных особенностей комплексирования – различное воздействие факторов естественного и искусственного происхождения на различные каналы получения видеoinформации.

Для адаптивного выбора комплексированных изображений изображения проходят оценку по показателям качества. На сегодняшний день существует много известных подходов в адаптивном комплексировании изображений. Одним из подходов является адаптивное комплексирование разнеспектральных изображений на основе интегрально-мультипликативного показателя качества (ИМПК).

Адаптивное комплексирование изображений различных спектральных диапазонов с применением ИМПК позволяет получать более качественные результирующие изображения, содержащие максимум визуальной информации для дальнейшего анализа

Рассмотрим данный подход. Интегрально мультипликативный показатель качества высчитывается следующим образом (1):

$$(1) Q_{ИМПК} = L_Q (w_1 w(q) \sigma_{B^*чm}^* + w_2 \overline{K_{лок}^*} + w_3 \overline{K_{локHЧ}^*}) .$$

Показатели, применяющиеся в выражении (1), рассчитываются следующим образом.

СКО высокочастотной составляющей $\sigma_{Bч}$ оценивается по разности исходного изображения и оценки фоновой составляющей, полученной путем свертки с весовой функцией окна большой апертуры, после чего корректируется с учётом оценки СКО собственного шума σ_w :

$$\sigma_{Bч}^* = \begin{cases} (\sigma_{Bч}^2 - \sigma_w^2)^{0,5}, & \sigma_{Bч} > \sigma_w, \\ 0, & \sigma_{Bч} < \sigma_w. \end{cases}$$

Для вычисления нормированного показателя $\sigma_{вчn}^*$ применяется формула (2), где в качестве σ подставляют $\sigma_{вч}^*$.

$$(2) \sigma_n = \begin{cases} \sigma/50, & \sigma \leq 50, \\ (100 - \sigma)/50, & 50 < \sigma \leq 100, \\ 0, & \sigma > 100. \end{cases}$$

СКО шума σ_w оценивается по минимуму локального СКО в секторах $N \times N$ пикселей и умножается на поправочный коэффициент $w_{ш}$:

$$(3) \sigma_w = w_{ш} \min_{i,j} \{ \sigma_{лок ij} \}, \text{ где } i = 1, 2, \dots, W/N, j = 1, 2, \dots, H/N.$$

При вычислении (3) из двумерного массива $\sigma_{лок ij}$ для предотвращения формирования заниженного значения СКО σ_w исключаются локальные оценки $\sigma_{лок ij}$, не удовлетворяющие хотя бы одному из условий:

$$2,5\sigma_{лок ij} < m_{лок ij} < L_m - 2,5\sigma_{лок ij}, \quad m_{лок ij} \neq 0, \quad m_{лок ij} \neq L_m.$$

где $m_{лок ij}$ — локальное математическое ожидание яркости, $L_{пор1}$, $L_{пор2}$ — соответственно нижний и верхний пороги яркости. Необходимость введения дополнительных условий продиктована ограниченным диапазоном значений яркости сенсоров с глубиной цвета 8 бит: от 0 до L_m .

Весовой коэффициент $w(q)$, зависящий от глобального отношения сигнал-шум (ОСШ) $q = \sigma_{вч}^* / \sigma_w$, учитывает степень искажения шумом малоразмерных деталей изображения. Он м.быть задан монотонно возрастающей сигмоидальной функцией: $w(q) = 1 - \exp(-0,2 q^2)$.

Среднее значение локального контраста $\overline{K_{лок}}$ определяется следующим образом: $\overline{K_{лок}} = \overline{LC_{ij}}$ (4), где LC_{ij} — значение локального контраста,

вычисляемое по формуле (3), в секторе с номером ij размером $N \times N$ пикселей, $i = 1, 2, \dots, W/N, j = 1, 2, \dots, H/N$.

При расчете LC_{ij} на изображениях от камер с широкоугольными объективами, для которых характерно виньетирование, также не учитываются секторы, расположенные вблизи границ кадра.

Для изображений с низким контрастом фона, но содержащих в то же время малоразмерные высококонтрастные объекты, (5) можно модифицировать:

$$(5) \overline{K_{лок}} = \begin{cases} \max_{i,j}\{LC_{i,j}\}, \max_{i,j}\{LC_{i,j}\} < L_{нор}, \\ \left[\overline{LC_{ij}} \max_{i,j}\{LC_{ij}\} \right]^{-0,5}, \max_{i,j}\{LC_{i,j}\} \geq L_{нор} \end{cases},$$

Поскольку БГШ с нулевым математическим ожиданием увеличивает контраст (4) на $6\sigma_{ш}/L_m$, необходимо дополнительно выполнять коррекцию оценок локальных контрастов: $\overline{K_{лок}^*} = \overline{LC_{ij}^*}$, где $LC_{ij}^* = LC_{ij} - 6\sigma_{ш}/L_m$.

При $\sigma_{вч} = 0$ собственный шум будет увеличивать локальный контраст НЧ составляющей кратномасштабного разложения. Преобразование Хаара кратности M уменьшит СКО шума в 2^M раз, а вычисление разности яркостей соседних пикселей для оценки контраста по (3) — увеличит в $\sqrt{2}$ раз. Предполагая также, что в секторе 2×2 пикселя максимальное значение разности числителя (3) не превысит $(4 \dots 5)\sigma_{ш}$, получим следующую приближенную формулу для $\overline{K_{локНЧ}}$ с учетом коррекции воздействия шума:

$$\overline{K_{локНЧ}^*} = \begin{cases} \overline{K_{локНЧ}}, \sigma_{вч}^* > 0, \\ \overline{K_{локНЧ}} - \frac{(4 \dots 5)\sqrt{2\sigma_{ш}}}{255 * 2^M}, \sigma_{вч}^* = 0 \end{cases}$$

Коэффициенты w_1, w_2 и w_3 определяют вес частных показателей в ИМПК (3). При проведении экспериментов приняты значения $w_1 = 0,5, w_2 = w_3 = 0,25$.

Основной недостаток ИМПК: оценка шума строится на основе гипотезы о том, что шум изображения описывается моделью белого гауссовского шума. Поэтому его применение к кадрам с КТЗ инфракрасного (ИК) диапазона (с выраженным геометрическим шумом с негауссовским законом распределения) приводит к завышенным оценкам ИМПК.

Для изображения от каждого канала рассчитывается свой ИМПК, а затем в зависимости от значения ИМПК производится взвешенное суммирование изображений с получением результирующего комплексного изображения.

Пример работы алгоритма адаптивного комплексирования изображений различных спектральных диапазонов с применением ИМПК представлен на рисунках 1-4.



Рис. 1 - Изображение в диапазоне LWIR (длинноволновый диапазон инфракрасного излучения (8-14 мкм))



Рис. 2 - Изображение SWIR (коротковолновый диапазон инфракрасного излучения (0,7-2,5 мкм))



Рис. 3 – Изображение VIS (видимый диапазон (400-700 нм))



Рис. 4 – Результат комплексирования

Библиографический список

1. Богданов, А.П. Оценка качества цифровых изображений / А.П. Богданов, Ю.Н. Романов // Техническое зрение в системах управления – 2012: тезисы докладов. – М.: ИКИ РАН, 2012. – С. 218-226.
2. Тупиков В.А., Павлова В.А., Александров В.А. Сравнительный анализ различных методов информационного совмещения изображений в многоканальных оптико-электронных системах // Перспективные системы и задачи управления: материалы 11-й Всероссийской НТК. Т. 1, Ч. 2. – Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2016. – С. 438-445

УДК 519.712

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БПЛА

С.И. Елесина, Т.М. Караева, Е.Р. Муратов, О.Н. Олейникова
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрен принцип корреляционно-экстремальной навигации. Предложена структура программного стенда для исследования алгоритмов. Экспериментально определены параметры алгоритмов.

Ключевые слова: *безпилотные летательные аппараты, корреляционно-экстремальные навигационные системы, метод поэтапного сканирования.*

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE UAV CORRELATION-EXTREME NAVIGATION SYSTEM

S.I. Elesina, T.M. Karaeva, E.R. Muratov, O.N. Oleinikova
Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The principle of correlation-extremal navigation is considered. The structure of the software stand for the study of algorithms is proposed. The parameters of the algorithms are experimentally determined.

Key words: *unmanned aerial vehicles, correlation-extreme navigation systems, step-by-step scanning method.*

В процессе развития авиационной и космической техники появляются новые поколения летательных аппаратов (ЛА) с высокими летно-техническими характеристиками и широким спектром задач. Широкое распространение получают беспилотные летательные аппараты (БПЛА). В связи с этим расширяются задачи, решаемые летательными аппаратами, и к средствам их навигации предъявляются требования высокой точности, надежности, помехозащищенности, автономности, максимальной автоматизации, отсутствия ограничений по дальности, высоте и скорости полета [1].

Современные высокоточные системы навигации БПЛА базируются на комплексировании инерциальных навигационных систем (ИНС) с системами спутниковой коррекции или с системами навигации по геофизическим полям Земли (корреляционно-экстремальными навигационными системами). Использование для коррекции ИНС спутниковых навигационных систем – достаточно простой и эффективный способ. Однако он имеет свои недостатки, такие как низкая помехоустойчивость системы коррекции и неавтономность функционирования комплексированной навигационной системы. К тому же погрешность в ИНС с течением времени ее работы возрастает, и система требует коррекции. Этих недостатков лишены КЭНС, определяющие местоположения ЛА в местной системе координат путем

сравнения эталонного изображения, которое сформировано заранее по исходной видеoinформации (например, аэро- или космическому фотоснимку), с текущим изображением, формируемым в полете БПЛА. Главные преимущества КЭНС – автономность, помехоустойчивость, возможность использования как для территорий суши, так и акваторий, включая Мировой океан.

Одной из важнейших задач КЭНС является совмещение изображений. При этом сравниваются фрагменты текущего изображения (ТИ), полученного в реальном времени, с эталонными изображениями (ЭИ), которые формируются заранее. На настоящий момент для этого разработано множество методов и алгоритмов [2]. *Методом* (алгоритмом) решения задачи минимизации называется способ построения последовательности точек из X , сходящейся к некоторой точке, в которой значение $f^* = \inf f(x)$ точно или приближенно достигается. Типы сходимости указанной последовательности могут быть различными – от сходимости по значению функции f до сходимости с некоторой вероятностью.

Основным методом здесь является *метод полного перебора*, когда поочередно рассматриваются все точки области поиска и вычисляется значение целевой функции. Но он является весьма трудоемким.

Для сокращения объема вычислений применяются модификации метода сканирования. При поэтапном сканировании (сканировании с переменным шагом) вначале задается достаточно большой шаг и выполняется «грубый» поиск, который локализует область существования глобального экстремума. После того, как область определена, производится поиск с меньшим шагом только в пределах найденной области. Можно организовать ряд таких процедур последовательного уточнения положения оптимальной точки.

В данной работе рассматривается метод поэтапного сканирования..

Суть метода заключается в том, что вначале осуществляется сканирование ТИ с шагом больше 1. Затем происходит уточнение координат точки совпадения. Это осуществляется за несколько аналогичных этапов. Для исследования этого метода разработан программный стенд (Рис. 1). С его помощью можно экспериментальным путем определить оптимальные параметры, для которых может быть получен наилучший результат.

В соответствии с полученными результатами эксперимента можно сделать следующие общие выводы.

1) Чем больше изображение, тем выше вероятность правильного совмещения, а трудоемкость при определенных значениях шагов меньше.

2) При увеличении количества этапов трудоемкость значительно снижается. Но вероятность при этом также снижается, особенно при размере ЭИ, равном 25% от ТИ. Поэтому использование большого количества этапов сканирования на ЭИ небольших размеров невыгодно.

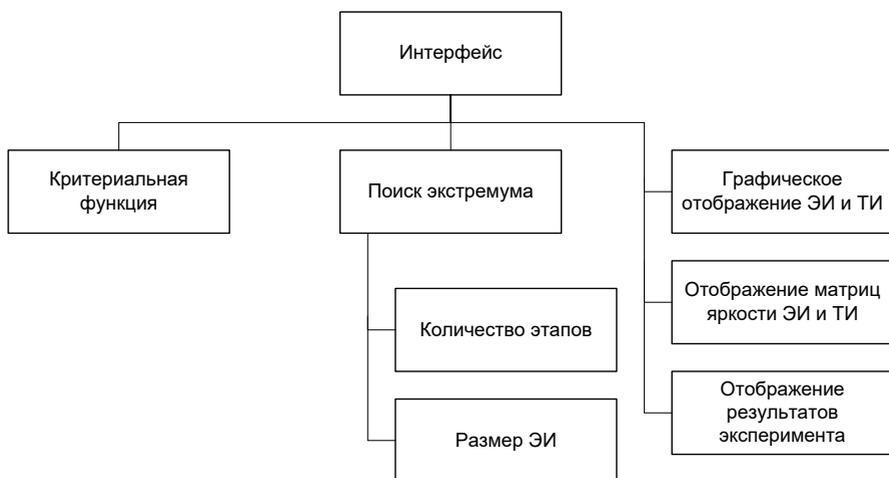


Рис. 1 – Структура программного стенда

На основании полученных данных были определены следующие оптимальные параметры метода:

- количество этапов: 2;
- размер ЭИ: 50% от ТИ;
- значение шага на первом этапе: 17;
- значение шага на втором этапе: 8;
- значение шага на третьем этапе: 3;
- значение шага на четвертом этапе: 1.

При этом показатели эффективности принимают следующие значения:

- средняя трудоемкость: 138,78 вызовов ЦФ;
 - вероятность: 0,98.

Библиографический список

3. Белоглазов И. Н., Джанджгава Г. И., Чигин Г. П. Основы навигации по геофизическим полям. - М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1985. - 328 с.
2. С.И. Елесина, Т.М. Караева, П.В. Беляков. Совмещение изображений с использованием пирамиды изображений// Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки и производства». Рязань. 2021. – С. 308-315.

УДК 519.712

РАСПОЗНАВАНИЕ ЖЕСТОВ В БЕСКОНТАКТНОМ УПРАВЛЕНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

А.В. Ефремов, Е.Р. Муратов, М.Б. Никифоров, А.Н. Хутев
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрен подход к распознаванию жестов в системах бесконтактного управления техническими системами специального назначения.

***Ключевые слова:** робототехническая система, бесконтактный интерфейс, человеко-машинного взаимодействия, распознавание жестов.*

GESTURE RECOGNITION IN CONTACTLESS CONTROL OF ROBOTIC SYSTEMS

A.V. Efremov, E.R. Muratov, M.B. Nikiforov, A.N. Khutev
Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

An approach to gesture recognition in non-contact control systems for technical systems for special purposes is considered.

***Keywords:** robotic system, contactless interface, human-machine interaction, gesture recognition.*

Исследования в области использования жестов, как одного из способов взаимодействия с робототехнической системой, является относительно молодым и стремительно развивающимся направлением и до сих пор не решенным в полном объеме. Значимость создания бесконтактных интерфейсов для управления бесспорна, ведь налаженный дистанционный контакт человека и «машин» даст колоссальный рывок в области создания систем. В современных автомобилях начинается плавное внедрение бесконтактных способов взаимодействия человека и мультимедийных систем, чтобы максимально сократить время, затрачиваемое на аналогичные действия путем ручного ввода информации, что в свою очередь должно повысить безопасность на дорогах. Но такие простые системы построены на базе датчиков глубины и работают, как правило, на расстоянии нескольких сантиметров и распознают определенные движения руки относительно датчика.

Подавляющее большинство существующих реализаций методов распознавания уверенно работают, когда рука находится на однородном фоне, что дает высокую степень уверенности нахождения руки на изображении. Но в реальности такой случай использования подобных реализаций маловероятен. На сложном фоне процент правильного распознавания выполняемого действия резко снижается, когда рука на изображении перекрывает различные элементы тела с открытой кожей, а это является самой распространенной ситуацией. Многие алгоритмы нацелены

на детектирование ладони, пальцев и других элементов руки, изображенных в кадре перпендикулярно плоскости сенсора. Когда же рука предстает перед датчиком под другим углом или незначительно смещается в плоскости, это может сильно повлиять на результаты распознавания жеста в последовательности изображений. На достоверность распознавания так же могут влиять аксессуары, надетые на руку, такие как кольца, перчатки и др. Не малое значение для определения точности алгоритмов распознавания имеет накладываемые ограничения к их аппаратной реализации. Устройство распознавания должно быть компактным, с небольшим потреблением мощности, не дорогим, а, следовательно, и вычислительная мощность должна быть соответствующей. Учитывая сказанное, следует признать актуальным решения задачи по повышению эффективности алгоритмов и методов распознавания жестов.

Для человеко-машинного взаимодействия, как правило, используются коммуникативные жесты, потому что их можно представить в виде статических поз и движений руки.

В зависимости от устройства ввода, алгоритмы и методы решения задачи распознавания жестов относят к одному из следующих направлений:

- Методы, использующие устройства ввода, работающих вне спектра видимого света (тепловые сенсоры, ИК камеры);
- «Активные методы», требующие активного проецирования света;
- «Инвазивные методы», которые требуют модификации или изменения среды (ношение специальных перчаток или цветowych маркеров);
- Методы, построенные на базе компьютерного зрения. Жесты наблюдаются и записываются видео камерами.

В докладе рассматривается система распознавания динамического жеста, состоящего из двух фиксированных положений (рисунок 1.8):

- раскрытая ладонь,
- ладонь, сжатая в кулак.

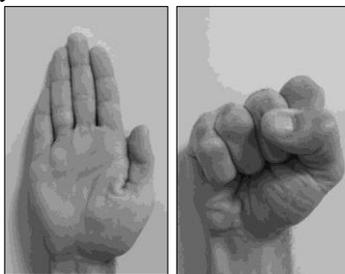


Рис. 2 – Пример исследуемых жестов

Алгоритм детектирования жеста сводится к нахождению ключевых точек на изображении. Сокращение вычислительной сложности и повышение качества распознавания достигается путем применения детектора углов методом Shi & Tomasi. Во время наблюдения жеста, пиксели, принадлежащие руке, могут перемещаться по изображению. Предлагается

фильтровать результат детектирования углов маской движения. Отфильтрованные вершины углов с помощью приёма кластеризации объединяются в объекты – кластеры, которым присваиваются номера. Значение номера кластера удерживается при его перемещении на изображении от кадра к кадру.

Таким образом, детектирование жеста руки сводится к анализу изменения ключевых характеристик кластера: высота и ширина описывающего прямоугольника, количество детектированных вершин углов, положение центра на изображении, событие распада или объединения кластера из нескольких других. В результате анализа можно с высокой достоверностью определить события сжатия ладони в кулак и разжатие кулака. Если эти два события наступают с небольшим интервалом времени, то можно судить о фиксации жеста «Сжатие в кулак/разжатие».

Библиографический список

1. Холопов Е.Ю., Новиков А.И., Никифоров М.Б., Бесконтактное управление техническими системами специального назначения// Оборонная техника. № 7-8, 2021. – С.75-80
2. Нагапетян В., Толмачев И.Л. Бесконтактное управление роботизированной рукой с помощью жестов человека, Вестник РУДН, 2014. №2, С. 157–163.
3. Сатыбалдина Д. Ж., Овечкин Г. В., Калымова К. А. Система распознавания статических жестов рук с использованием камеры глубины // Вестник РГРТУ. 2020. № 72 . С. 93-105.

УДК 621.391.82

СПЕКТРАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ КУСОЧНО-СТАЦИОНАРНЫХ СИГНАЛОВ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

В.А. Чан, В.Г. Андреев

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

В работе предложен алгоритм спектрального анализа кусочно-стационарных биомедицинских сигналов для медицинской диагностики, который позволяет уменьшить в 3,3...4,8 раза невязку между контрольным и модельными спектрами по сравнению с известными методами спектрального анализа, в частности с авторегрессионным методом.

Ключевые слова: *кусочно-стационарные помехи, адаптивный алгоритм, оценка мощности шума, биомедицинские сигналы.*

SPECTRAL ESTIMATION OF PIECE-STATIONARY SIGNALS OF MEDICAL DIAGNOSIS

V.A. Tran, V.G. Andreev

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

The paper proposes an algorithm for the spectral analysis of piecewise-stationary biomedical signals for medical diagnostics, which allows to reduce by 3.3...4.8 times the discrepancy between the control and model spectra in comparison with the known methods of spectral analysis, in particular with the autoregressive method.

Key words: *piecewise-stationary noise, adaptive algorithm, power of noise estimation, biomedical signals.*

Обработка биологической и медицинской информации является динамично развивающейся областью науки [1]. Концепции биомедицинских сигналов широко используются для извлечения физиологической информации при реализации многих клинических процедур для сложной медицинской практики и приложений. Исследованы передовые алгоритмы и методы в области поиска информации, основанные на частотно-временном представлении. Предложено множество алгоритмов спектрального оценивания биомедицинских сигналов на фоне кусочно-стационарных помехи [2], которые оказывают значительное влияние на различные биомедицинские приложения и применяются в различных областях, таких как неврология и сердечно-сосудистая система.

Обычно для повышения точности спектрального оценивания при жёстких ограничениях на длительность наблюдений в медицинских диагностических сигналах используют авторегрессионную (АР) модель, применяя параметрический подход к оценке спектра [2].

Чтобы получить более точное решение задачи спектрального оценивания предлагается модифицированная АР-модель. При этом, вектор $\tilde{\mathbf{a}}$ авторегрессии модифицированной АР-модели имеет вид:

$$\tilde{\mathbf{a}} = -[\mathbf{R}_1 + (\mathbf{R}_2 - P_n \mathbf{I})]^{-1} \mathbf{i}, \quad (2)$$

где P_n — корректирующая величина, основанная на оценке мощности аддитивного шума; $\mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2$ — $(p+1) \times (p+1)$ -мерные матрицы автокорреляции 1-го и 2-го фрагментов сигнала с различными по мощности зашумлениями (например, с аддитивными некоррелированными шумами со среднеквадратическими отклонениями σ_1 и σ_2 соответственно); \mathbf{I} — $(p+1) \times (p+1)$ -мерная единичная матрица; \mathbf{i} — $(p+1)$ -мерный крайний левый вектор-столбец единичной матрицы \mathbf{I} .

Рассмотрим предлагаемую методику спектрального оценивания на примере описания пульса здорового человека, наблюдения за которым проводились на интервале $T=151$ отсчётов (междударных интервалов). На рисунке 1 показаны результаты оценивания спектра мощности

фотоплетизмографической центрированной крадиоинтерваллограммы, максимальное значение которой нормировано к единице, с помощью параметрического авторегрессионного метода при порядке AP-модели $p=5$, $\sigma_1=10^{-3}$, $\sigma_2=1$, $P_n=0,3$.

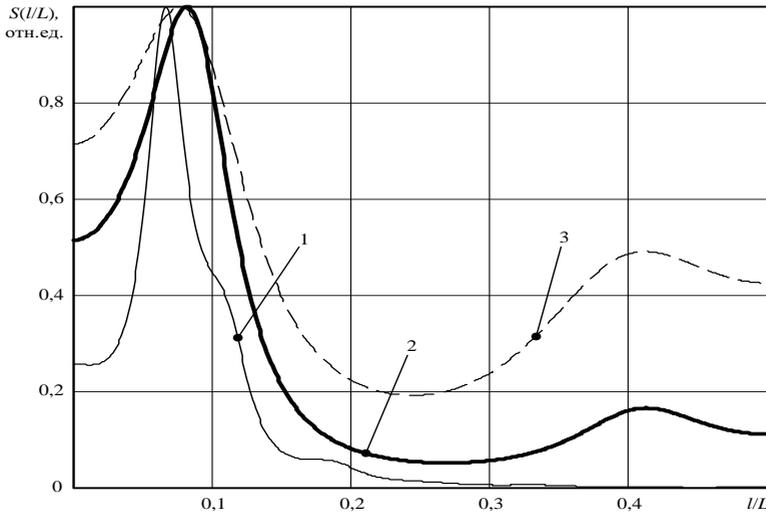


Рис. 1 – Оценки спектральных характеристик

На рисунке 1 введены следующие условные обозначения: $S(l/L)$ — нормированная к своему максимальному значению спектральная плотность мощности (СПМ) в относительных единицах; l/L — относительная частота, численно равная отношению номера l текущего спектрального отсчёта к общему числу L спектральных отсчётов ($L=1000$); тонкая сплошная кривая 1 — энергетический контрольный спектр, полученный с помощью AP-модели 15-го порядка; жирная сплошная линия 2 — спектр, полученный на основе предлагаемой модели; пунктирная кривая 3 — на основе простой AP-модели.

Из анализа рисунка 1 можно видеть, что качество оценивания СПМ у предлагаемой модифицированной модели лучше, чем обычным параметрическим AP-методом при воздействии нестационарных по мощности аддитивных шумовых помех.

Для объективной оценки эффективности предлагаемого подхода использован критерий нормированного квадрата длины E вектора ϵ невязки между векторами отсчетов спектральных плотностей мощности, который имеет вид:

$$E = \epsilon^T \epsilon / L, \text{ где } \epsilon = c - s, \quad (3)$$

где c — L -мерный вектор СПМ контрольной модели, в качестве которой используется энергетический спектр, полученный с помощью AP-модели большого ($p=15$) порядка по незашумлённому полезному диагностическому

сигналу; \mathbf{s} — L -мерный вектор СПМ, полученный сопоставляемым АР-методом; T — знак транспонирования.

Результаты сравнения адекватности моделирования при использовании различных подходов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Качество моделирования

Модели Порядок p	Обычная	Предлагаемая
4	0,149	0,031
6	0,115	0,028
8	0,059	0,018
10	0,047	0,015

Проведенные исследования показывают, что в условиях воздействия нестационарных по мощности аддитивных шумовых помех нормированный квадрат длины E вектора ϵ невязки у предлагаемой модели имеет в 3,3...4,8 раза меньшую величину, чем у обычной АР-модели. Из этого, следует, что существует возможность повышения точности спектрального оценивания медицинских диагностических сигналов предлагаемым методом.

Библиографический список

1. N. Kayvan, S. Rober Biomedical signal and Image processing (2nd edition). CRC press, New York, 2012. 413 p.
2. Андреев В.Г., Чан В.А. Оптимизация статистических моделей кусочно-стационарных радиотехнических сигналов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. Выпуск 80. Рязань: РГРТУ, 2022. С. 3-11.

УДК 617.57-77

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ БИОНИЧЕСКИХ РУК ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Н.В. Рузанова

Научный руководитель – Мезенцева А.И., старший преподаватель
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический
университет», г. Уфа

Аннотация. В статье проведен анализ существующих моделей бионических рук по техническим параметрам, определены их недостатки и достоинства.

Ключевые слова: бионические руки; анализ моделей; технические характеристики.

ANALYSIS OF EXISTING MODELS OF BIONIC HANDS BY TECHNICAL PARAMETERS

N. V. Ruzanova

Scientific adviser - Mezentseva A.I., senior lecturer

Ufa State Aviation Technical University, Ufa

The article analyzes the existing models of bionic hands according to technical parameters, finds their disadvantages and advantages.

Key words: bionic hands; model analysis; specifications.

В современном мире идет постоянное развитие науки и технологий. Человек взаимодействует с природой и пытается изменить условия своей жизни, не нарушая ее законов. На данный момент появилась потребность в устройствах, совмещающих в себе работу машины и человеческих способностей. Многие люди теряют конечность в результате травмы или лишены ее от рождения, поэтому нуждаются в устройстве, способном ее заменить и восстановить утраченные функции. Примером разработки и внедрения такой системы являются бионические протезы рук.

Бионический протез руки – устройство, полностью или частично заменяющее утраченную конечность и осуществляющее ее функции. Управление происходит с помощью сигналов, вызванных сокращением мышц. Приемная гильза имеет встроенные миодатчики, которые принимают эти сигналы и передают в микропроцессор. Там информация преобразовывается в команды движения, и, в результате, выполняется необходимый жест или хват.

Разработка бионических протезов в настоящее время является одним из самых перспективных научных направлений, поэтому различных предложений на рынке довольно много, причем отличия достаточно сильные как по функционалу, так и по цене.

Зарубежный рынок предоставляет множество современных моделей, одними их самых крупных иностранных производителей бионических протезов рук являются немецкие компании «Vincent» и «OttoBock», а в России подобные разработки ведет компания «Моторика».

Компания «Vincent» занимается изготовлением модели бионического протеза «VINCENTevolution4». Это многосуставная бионическая высокотехнологичная кисть с микропроцессорным управлением. Она повторяет анатомическую форму кисти, универсальна и удобна в использовании. Также она является одной из самых легких среди аналогичных устройств, оснащенных шестью электроприводами. В устройство интегрирована четырехканальная система управления, благодаря которой возможно подключение миодатчиков в количестве до четырех штук. Управление кистью может быть одноканальным – один сигнал переключения и многоканальным – несколько таких сигналов. Пользователю доступно 15 вариантов различных жестов и положений. Также в изделии применяется

вибротактильная обратная связь, что дает возможность «осознания», а кончики пальцев оснащены «ногтями», что позволяет схватывать даже маленькие предметы. Кисть изготавливается в 5 размерах и имеет 25 цветовых решений.

Компания «OttoBock» занимается продажей модели бионического протеза «Bebionic Hand EQD». Это легкий, удобный и надежный в эксплуатации миоэлектрический, мультисочлененный протез кисти. Он осуществляет захват, сжатие, вытягивание и перенос предметов с помощью мультисочленительного принципа действия. Конструкция совпадает с анатомической формой и весом кисти человека. Приводы на пальцах индивидуальны, что способствует выполнению естественного и адаптивного захватов объекта. Пользователю доступно 14 вариантов различных захватов и положений, дающих необходимый уровень гибкости для выполнения повседневных задач. Пассивная подвижность пальцев обеспечивает защиту механических компонентов при прикосновении к чему-либо или столкновении путем их ослабления и сгибания. Устройство универсально за счет индивидуальной подгонки в зависимости от уровня ампутации пользователя и, соответственно, подбора монтажной высоты из трех вариантов модуля изделия. Кисть изготавливается в 2 размерах и имеет 2 цветовых решения.

На российском рынке выбор менее обширен по нескольким причинам. Отсутствуют высокотехнологичные центры для производства серийных партий, поэтому изготовление ведется только в Москве или Санкт-Петербурге, что ограничивает их доступность населению. Также из-за отсутствия прямых поставок комплектующих закупки ведутся через дистрибьюторов, что сказывается на стоимости протеза.

Компания «Моторика» занимается изготовлением модели бионического протеза «MANIFESTO». Это протез, содержащий 5 электромеханических приводов и систему управления, в которой происходит регистрация, анализ и преобразование сигнала от миодатчиков в усиление на приводах. Схват протеза имеет силу, сравнимую с силой человеческого сжатия. Управление осуществляется пропорционально напряжению в сокращенных мышцах, что позволяет схватывать хрупкие предметы. Пользователю доступно до 14 вариантов различных захватов и положений, а также пассивная ротация кисти на 180°, обеспечивающие возможность произвольного настраивания жестов для выполнения различных действий. Кисть изготавливается по индивидуальным размерам, возможен выбор различных цветовых решений и включение дополнительного функционала.

Изделия иностранного производства имеют большую степень защиты и срок использования, но при этом более дорогостоящие. Сравнительные характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 2 – Сравнительная таблица параметров протезов

Наименование характеристики	VINCENTevolution4	Bebionic Hand EQD	MANIFESTO
-----------------------------	-------------------	-------------------	-----------

Масса, г	450	500	400
Рабочее напряжение, В	от 7,4 В до 8,4 В	7,4	6
Условия эксплуатации	от -5 до +45 °С	от -5 до +45 °С	от -10 до +40 °С
Емкость АКБ, мА/ч	1290	1150 или 3450	1200 или 2500
Наличие светодиодного индикатора	есть	есть	есть
Класс пыле-влагозащиты	IP68	IP00	IP53
Срок службы	3 года	5 лет	2 года

Предложения местного рынка дешевле, однако существуют государственные меры поддержки, позволяющие получить протез совершенно бесплатно по индивидуальной программе реабилитации. Также они имеют возможность встраивания дополнительного функционала, но при этом менее долговечные и с ограниченной подвижностью.

Таким образом, разработку бионических протезов кистей рук на данный момент необходимо продолжать совершенствовать, чтобы создать дешевое, долговечное и надежное устройство, собранное на комплектующих российского производства, не зависящих от импорта, призванное сделать жизнь человека лучше.

Библиографический список

1. Бионический протез «VINCENTevolution4» [Электронный ресурс] URL: <https://vincentsystems.vitaorta.ru/main-page/vincent-evolution4/> (дата обращения: 13.10.2022).
2. Бионический протез «Bebionic Hand EQD» [Электронный ресурс] URL: <https://www.ottobock.com/ru-ru/product/8E70> (дата обращения: 13.10.2022)
3. Бионический протез «MANIFESTO» [Электронный ресурс] URL: <https://motorica.org/prosthetics/upper-limb/manifesto-hand> (дата обращения: 13.10.2022)
4. Руководство протезиста «VINCENTevolution4».
5. Руководство пользователя «Bebionic Hand EQD».
6. Руководство пользователя «MANIFESTO».
7. Уразбахтина Ю.О., Камалова К.Р., Морозова Е.С. Бионические протезы верхних конечностей: сравнительный анализ и перспективы использования // Международный научно-исследовательский журнал.- 2022. - №1 (115) URL: <https://research-journal.org/archive/1-115-2022-january/bionicheskie-protezy-verxnix-konechnostej-sravnitelnyj-analiz-i-perspektivy-ispolzovaniya> (дата обращения: 14.10.2022).

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Д.Ш. Багаутдинова

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа

Наиболее острой медико-социальной проблемой во всем мире является инвалидность, основную долю которой составляют люди с ампутированными конечностями. Для реабилитации используют различные виды протезов. Наиболее часто встречающееся решение в России – косметические, которые представляют собой анатомические муляжи ампутированных конечностей. Существуют также бионические протезы, оснащенные современными датчиками и микропроцессорами, позволяющие не только восполнить утраченную конечность, но и вернуть активный образ жизни.

Ключевые слова: бионический протез, коленный модуль.

ANALYSIS OF EXISTING MODELS OF THE LOWER EXTREMITIES ACCORDING TO THE TECHNICAL PARAMETERS

D. Sh. Bagautdinova

Ufa State Aviation Technical University, Ufa

The most acute medical and social problem in the world is disability, the majority of which are people with amputated limbs. Various types of prostheses are used for rehabilitation. The most common solution in Russia is cosmetic, which are anatomical models of amputated limbs. There are also bionic prostheses equipped with modern sensors and microprocessors, allowing not only to replenish the lost limb, but also to return an active lifestyle.

Keywords: bionic prosthesis, knee module.

В прошлом столетии из-за череды крупных конфликтов, революций, также появления новых типов вооружения, увеличился процент людей, лишившихся конечностей, что стало толчком к формированию концепции протезов. Эти протезы дали возможность инвалидам вернуться к выполнению их привычной рабочей деятельности [1].

Существуют различные типы протезов для реабилитации: миеоэлектрические, косметические, тяговые и т. д. [1] Наиболее популярными, в настоящее время, стали бионические протезы, т. к. приводятся в движение за счет волевого усилия пациента и полностью восстанавливают утраченные функции без негативных последствий для организма.

Зарубежные предприятия, такие как Endolite (Англия), ottobock (Германия), OSSUR (Исландия/США) предлагают своим клиентам большое

разнообразие бионических протезов (по очень высокой стоимости для российского потребителя), в то время как на отечественном рынке выпускают в основном косметические протезы, представляющие собой анатомические муляжи ампутированных нижних конечностей [2].

Компания «ottobock.» занимается производством коленного протеза «Genium X3». Изделие имеет микропроцессорное управление. На амортизационные характеристики изделия влияет гидравлическая система, которая управляется микропроцессором на основании значений измерений, сделанных встроенной системой датчиков. Адаптация к двигательной ситуации происходит благодаря данным датчика, которые обновляются и обрабатываются 100 раз в секунду, а для выполнения специальных видов движения используют режим MuMode. С помощью специального приложения есть возможность индивидуально подстроить изделие. Режим разряженной аккумуляторной батареи обеспечивает возможность надежной ходьбы в случае разрядки аккумулятора. Для этого устанавливаются параметры сопротивления, предварительно определенные изделием.



Рис. 4 – Внешний вид коленного протеза «Genium X3»

Компания «Endolite» занимается продажей коленного модуля «Orion3». Устройство является коленным модулем с микропроцессорным управлением и предназначается для пользователей с ампутацией на уровне бедра, и в котором для управления пневмогидравлическими исполнительными механизмами используются различные датчики. Orion3 можно настроить на индивидуальные характеристики походки пользователя. В режиме поддержки при остановке и нахождении в положении «стоя» с управлением сгибанием (функция замка) для обеспечения удобного стояния обеспечивается повышенная устойчивость коленного модуля. Во время спуска по лестнице этот режим динамически включается и позволяет легко инициировать сгибание модуля в колене в сочетании с повышенной поддержкой для безопасного опускания пользователя во время сгибания. Данный режим также обеспечивает поддерживающее сопротивление на сгибание, при неподвижном коленном модуле и динамически увеличивает сопротивление на сгибание, для предотвращения спотыкания пользователя. У устройства литий-ионный аккумулятор, позволяющий работать устройству без перебоев до трех дней.



Рис. 5 – Внешний вид коленного модуля «Orion3»

Далее в таблице 1 приведены некоторые характеристики коленных модулей данных производителей.

Таблица 3 – Сравнительная таблица параметров

Наименование характеристики	Genium X3	Orion3
Страна и фирма-изготовитель	немецкая компания ottobock.	Британская компания Blatchford
Температурный диапазон эксплуатации	от -10 °С до +60 °С	от -10 °С до +50 °С
Температурный диапазон зарядки	от +10 °С до +45 °С	от +10 °С до +40 °С
Вес изделия	1,7 кг	1,5 кг
Класс защиты	IP66 / IP68 Максимальная глубина воды: 3 м Максимальное время: 1 час	—
Уровень двигательной активности	3, 4	2, 3, 4
Максимальный вес пользователя	150 кг	125 кг
Водостойкость	Изделие водостойкое, коррозионно-устойчивое, защищено от проникновения струи воды	—
Технология беспроводной передачи данных	Bluetooth Smart Ready	Bluetooth
Скорость передачи данных (по воздуху)	2178 кбит/с (асимметрический)	—
Тип аккумулятора	Литий-ионный	Подзаряжаемый

		литий-ионный аккумулятор
Срок работы аккумулятора без подзарядки	5 дней при среднем уровне использования	До 3 дней при нормальной эксплуатации и полной зарядке аккумулятора. Зарядку следует проводить ежедневно
Время полной зарядки	8 часов	8 часов
Входное напряжение (зарядное устройство)	12 В	От 100В до 240В сети переменного тока
Частота тока	От 270 кГц до 450 кГц	От 50Гц до 60Гц

Современные тенденции развития российской биотехнологии направлены на развитие отечественного биопротезирования, создание современных бионических протезов, не уступающих по характеристикам зарубежным аналогам с использованием отечественной электронной базы. Рассмотренные коленные модули имеют достоинства и недостатки, которые необходимо учитывать для создания собственного образца биоэлектрического коленного модуля.

Библиографический список

1. Коробенков Н.О., Кочетов С.С., Григоров П. А. Бионическое протезирование конечности // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 2019. Т. 158, № 3.
2. Солодимова Г. А., Спиркин А. Н. Системы управления бионическими протезами нижних конечностей// Европейский журнал естественной истории. 2017.
3. Уразбахтина Ю.О., Камалова К. Р., Морозова Е. С. Бионические протезы верхних конечностей: сравнительный анализ и перспективы использования// Международный научно-исследовательский журнал, 2022. С. 125–130.

УДК 004.031.6

КРИПТОЗАЩИЩЕННЫЙ ЗАГРУЗЧИК ВСТРАИВАЕМОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Д.А. Соловьев

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрены некоторые проблемы, возникающие в процессе разработки

устройства со встраиваемой системой: необходимость защиты программного обеспечения микроконтроллера от копирования и потребность своевременного обновления прошивки микроконтроллера в случае добавления нового функционала или появления программных ошибок.
Ключевые слова: *встраиваемые системы, микроконтроллер, загрузчик*

CRYPTO-PROTECTED EMBEDDED SOFTWARE BOOTLOADER

D.A. Soloviev

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

Some of the problems that arise during the development of a device with an embedded system are considered: the need to protect the microcontroller software from copying and the need for timely updates of the microcontroller firmware in the case of adding new functionality or software errors.

Key words: *embedded systems, microcontroller, bootloader*

Развитие электроники привело к появлению нового инструмента для решения инженерно-технических задач - встраиваемых систем. Данный инструмент хорошо зарекомендовал себя, что подтверждается большим количеством бытовой и специализированной техники.

Встраиваемая система – это компьютерная система, представляющей собой комбинацию процессора, памяти и периферийных устройств ввода-вывода, которая выполняет определенную функцию в более крупных цифровых или электронных устройствах. Основой системы является микроконтроллер, микропроцессор или программируемая логическая интегральная схема. Встраиваемая в них программа, отвечающая за логику работы устройства, называется прошивкой.

При массовом производстве продукта со встраиваемой системой у разработчика появляется множество проблем.

Одной из них является необходимость защиты программного обеспечения микроконтроллера от просмотра и копирования. Если такой защиты нет, то хакер, посредством считывания прошивки может ее скопировать, что является кражей интеллектуальной собственности. Прочитав исходный код встраиваемого программного обеспечения, злоумышленник может на его основе создать свою прошивку с вредоносным кодом и загрузить ее в микроконтроллер, это чревато нарушением работы устройства и контролем над периферийными устройствами ввода-вывода, что является особенно недопустимым, если устройство подключено к локальной сети или сети Интернет.

Универсального способа защиты встраиваемого программного обеспечения микроконтроллера не существует, все зависит от производителя [1].

В семействе AVR для защиты прошивки микроконтроллера используются биты конфигурации - особые биты, которые хранятся и прошиваются

отдельно от остальной памяти. Они отвечают за: управления таймерами и тактированием, разрешение на чтение прошивки, защиту энергонезависимой памяти. Также для защиты используются биты блокировки, они используются для ограничения доступа отдельных областей памяти.

Семейство микроконтроллеров STM использует биты в специальных регистрах. В зависимости от значения бита, есть возможность заблокировать как доступ к памяти, так и возможность отладки микроконтроллера.

В серии микроконтроллеров PIC используется слово конфигурации, если в нем изменить нужный бит, то можно защитить программу от считывания.

Важно отметить, что рассмотренные способы защиты не совершенны и злоумышленник, при наличии ресурсов и времени, сможет снять защиту и получить доступ к прошивке [2].

Второй проблемой, с которой сталкивается разработчик встраиваемых систем является необходимость своевременного устранения ошибок и добавления нового функционала в существующее программное обеспечение. Данная проблема усугубляется несколькими факторами.

Для обновления прошивки требуется специальное оборудование – программатор и разъем на корпусе устройства для него. В готовой продукции разъем для программатора микроконтроллера зачастую не делают в целях экономии и безопасности.

Если в продажу поступила крупная партии оборудования, и в ней обнаружилась критическая программная ошибка, то для того, чтобы ее устранить, необходимо отозвать всю бракованную продукцию на завод-изготовитель для перепрограммирования каждого устройства, если имеется такая возможность. В том случае, когда при наличии новой прошивки, программатора и разъема для него, можно устранить дефект, не отправляя устройство на завод, нет гарантий того, что конечный потребитель знает, как самостоятельно перепрошить купленное устройство. Все это влечет за собой материальные и репутационные потери компании.

Одним из способов решить возникшие проблемы защиты и обновления программного обеспечения является написание собственного криптозащищенного загрузчика. Загрузчик, это специальная программа, которая располагается в памяти микроконтроллера и может самостоятельно перепрограммировать его.

Библиографический список

1. Новиков А.К., Горячев Н.В., Кочегаров И.И., Трусов В.А., Бростилова Т.Ю. Обзор микроконтроллеров общего назначения // НиКа. 2018.
2. Shedding too much Light on a Microcontroller's Firmware Protection / Johannes Obermaier and Stefan Tatschner, Fraunhofer Institute AISEC

УДК 621.317.616

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ ПО СЦЕНАРИЮ

В.А. Пархачев, С.С. Лукша

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассматриваются алгоритмы для автономного исследования территории мобильным роботом.

Ключевые слова: мобильный робот, карта проходимости, стратегия покрытия территории.

DEVELOPMENT OF A MOBILE ROBOT CONTROL SYSTEM ACCORDING TO THE SCENARIO

V.A. Parkhachev, S.S. Luksha

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

Algorithms for autonomous exploration of the territory by a mobile robot are considered.

Key words: mobile robot, terrain map, territory coverage strategy.

Задача покрытия территории системами с одним или несколькими роботами является фундаментальной проблемой робототехники. Помимо теоретического интереса, она имеет важные применения в различных областях, от автоматической мойки полов и нанесения покрытий на таких объектах, как супермаркеты [1] и вокзалы [2], до гуманитарных миссий, таких как поиск и спасание, разминирование в полевых условиях [3].

В рамках настоящей работы предлагается рассмотреть следующий сценарий: информационно-измерительная система робота формирует карту, поэтому траектория движения робота может быть определена до выполнения алгоритма покрытия. Его задачей будет проехать по ней, объезжая препятствия с последующим возвращением.

Задача оптимального покрытия может быть сформулирована как обобщение задачи коммивояжера (Traveling Salesperson Problem) для непрерывной области, и, таким образом, является NP-трудной [4]. Однако можно найти решения проблемы покрытия, близкие к оптимальному за полиномиальное или даже линейное время с помощью эвристик и абстракций. Поэтому необходимо разработать эффективный алгоритмы для решения задачи исследования территории.

Будут рассмотрены два алгоритма эвристического решения за полиномиальное время [5]. Алгоритм STAC (Spanning-Tree Adversarial Coverage) разбивает целевую область на связанные области безопасных и опасных ячеек, а затем покрывает безопасные области, прежде чем перейти к опасным. Алгоритм GAC (Greedy Adversarial Coverage) следует жадному

подходу, который ведет робота из его текущего местоположения в ближайшее самое безопасное место.

Библиографический список

1. Y. Elmaliach, N. Agmon and G. A. Kaminka. Multi-robot area patrol under frequency constraints. Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pages 385-390, April 2007.
2. H. Yaguchi. Robot introduction to cleaning work in the east japan railway co. Adv. Robotics, 10 (4):403-414, 1996.
3. J. D. Nicoud and M. K. Habib. The pemex autonomous demining robot: Perception and navigation strategies. In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot Systems, pages 1:419-424, 1995.
4. E. M. Arkin and R. Hassin. Approximation algorithms for the geometric covering salesman problem. Discrete Applied Mathematics, 55:197-218, 1994.
5. R. Yehoshua, N. Agmo, Robotic Adversarial Coverage of Known Environments. The International Journal of Robotics, pages 1–39, 2015

УДК 004.93'14

ВЫДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ В НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЛАКАХ ТОЧЕК

В.С. Шустов, М.Б. Никифоров, С.А. Голь

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрены способы выделения границ в облаках точек, предложен алгоритм, позволяющий выделять границы как в упорядоченных, так и в неупорядоченных облаках точек, не подверженный влиянию ложных точек и перекрытия объектов.

Ключевые слова: *выделение границ, облако точек, лидар, выделение признаков в облаках точек.*

EDGE DETECTION IN UNORGANIZED 3D POINT CLOUDS

V.S. Shustov, M.B. Nikiforov, S.A. Goll

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

Methods of edge detection in point clouds are considered, and an algorithm that allows to extract edges in both organized and unorganized point clouds without being affected by veil points and object overlap is proposed.

Key words: *edge detection, point cloud, LiDAR, point cloud feature detection.*

Выделение различных объектов интереса является одним из важнейших этапов работы многих алгоритмов сегментации, кластеризации данных, а

также локализации мобильных транспортных средств и планирования их траектории. Одними из важнейших объектов интереса, используемых в перечисленных задачах, являются границы объектов.

Границы в облаке точек можно разделить на два типа – области разрыва глубины и непрерывные границы (рис. 1).

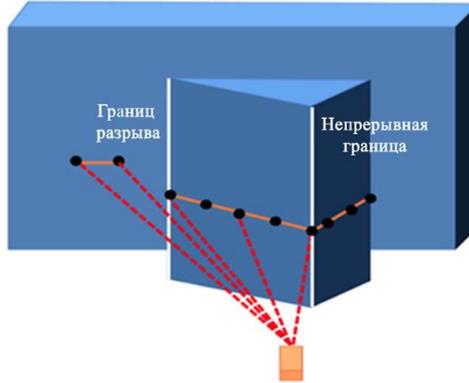


Рис. 6 - различие между типами границ в облаке точек

Существуют различные методы выделения границ разрыва. Одним из простейших методов описан в [1]. В его основе лежит вычисление интенсивности границы как максимального скачка глубины для каждой точки:

$$d_i = \max(r_{i-1} - r_i, r_{i+1} - r_i, 0) \quad (1)$$

где $r_i = |\mathbf{p}_i|$ – расстояние до i -ой точки.

Чем больше значение d_i , тем более достоверная граница находится в окрестности i -ой точки. Данный алгоритм имеет хорошие вычислительные показатели, однако он может применяться только в упорядоченных облаках точек. Также при повышении углового разрешения лазерного сканера алгоритм теряет в точности из-за влияния ложных точек [2].

Наиболее популярными методами выделения границ в неорганизованных облаках точек является выделение границ разрыва в карте глубин. Для получения карты глубин облако точек проецируется на плоскость:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \left[1 - \arctg \left(\frac{y}{x} \right) \cdot \pi^{-1} \right] \cdot w \\ \left[1 - \left(\arcsin(z \cdot r^{-1}) + f_{up} \right) \cdot f^{-1} \right] \cdot h \end{pmatrix} \quad (2)$$

где $f = f_{up} + f_{down}$ – вертикальное поле зрения лазерного сканера, w, h – ширина и высота карты глубин.

После получения карты глубин выделение границ может осуществляться различными способами, такими как методы Робертса [3], Прюитт [4],

Собеля [5], Кирша [6], Кэнни [7] и др.

Данный алгоритм выделения границ позволяет работать с неупорядоченными облаками точек, однако также теряет в точности при повышении разрешения лазерного сканера, а также из-за наложения фоновых объектов на передние при перекрытии.

Предложенный метод позволяет выделять границы непосредственно в неупорядоченном облаке точек, без построения карты глубин. Алгоритм выделяет непрерывные границы, геометрически представляющие собой линии пересечения плоскостей.

Метод состоит из трёх последовательных шагов:

1. Вокселизация входного облака точек

Исходное облако точек представляет собой сложную сцену, не подходящую для прямого поиска плоскостей. Облако разбивается на воксели довольно большого размера (порядка одного метра), внутри которых и осуществляется поиск плоскостей.

2. Поиск плоскостей

Внутри каждого вокселя осуществляется поиск нескольких плоскостей при помощи, например, алгоритма RANSAC [8]. Если найдено более одной плоскости, можно переходить к следующему шагу, иначе — к следующему вокселю.

Из множества \mathbf{x} точек случайным образом выделяется некоторое количество k , на основе которых вычисляется модель плоскости, наилучшим образом описывающее эти k точек. Плоскость можно описать с помощью точки \mathbf{x}_{plane} , принадлежащей этой плоскости и вектора нормали \mathbf{n}_{plane} к плоскости. Данная плоскость называется гипотезой.

$$\mathbf{x}_{plane} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \mathbf{x}_i \quad (3)$$

Вектор нормали \mathbf{n}_{plane} представляет собой корень \mathbf{v} уравнения (4), ассоциированный с наименьшим λ [9].

$$\left[\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_{plane})(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_{plane})^T \right] \mathbf{v} = \lambda \mathbf{v} \quad (4)$$

Затем для каждой точки множества \mathbf{x} проверяется соответствие полученной гипотезе. Если расстояние от точки до плоскости превышает пороговое значение r_{plane}^{th} , точка помечается как выброс и не участвует в оценке качества гипотезы. После проверки каждой точки вычисляется суммарная ошибка E .

$$plane_r^{point} = \frac{\|\mathbf{n}_{plane} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{x}_{plane})\|}{\|\mathbf{n}_{plane}\|} \quad (5)$$

$$E = \sum_{i=1}^{|\mathcal{X}|} plane_r^{point}, \quad plane_r^{point} < r_{plane}^{th}$$

Данный алгоритм выполняется итеративно, пока не будет достигнута приемлемая точность, либо пока не будет достигнут предел количества итераций. На каждой итерации сравнивается качество текущей гипотезы с наилучшей и, если суммарная ошибка текущей гипотезы меньше суммарной ошибки наилучшей гипотезы, текущая становится наилучшей.

3. Вычисление линий пересечения

Если внутри вокселя было найдено несколько плоскостей, необходимо найти прямые, образованные пересечениями этих плоскостей. Для отсека параллельных или почти параллельных плоскостей для каждой их пары проверяется соответствие условию:

$$\frac{\pi}{6} \leq \frac{\mathbf{n}_{plane1} \cdot \mathbf{n}_{plane2}}{\|\mathbf{n}_{plane1}\| \|\mathbf{n}_{plane2}\|} \leq \frac{5\pi}{6} \quad (6)$$

Прямую можно описать с помощью точки \mathbf{x}_{line} , принадлежащей этой прямой, и направляющего вектора \mathbf{v}_{line} .

$$\mathbf{v}_{line} = \frac{\mathbf{n}_{plane1} \times \mathbf{n}_{plane2}}{\|\mathbf{n}_{plane1} \times \mathbf{n}_{plane2}\|}$$

$$\mathbf{x}_{line} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} n_{plane1_1} & n_{plane1_2} \\ n_{plane2_1} & n_{plane2_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_{plane1} \cdot \mathbf{x}_{plane1} \\ \mathbf{n}_{plane2} \cdot \mathbf{x}_{plane2} \end{bmatrix}$$

Затем необходимо найти среди множества \mathbf{x} все точки, расстояние от которых до найденных прямых не превышает порогового r_{line}^{th} .

$$line_r^{point} = \frac{\|\mathbf{v}_{line} \times (\mathbf{x} - \mathbf{x}_{line})\|}{\|\mathbf{v}_{line}\|} \quad (8)$$

Точки, принадлежащие прямым, образованным пересечениями плоскостей, представляют собой искомые границы в облаке точек.

Библиографический список

1. MunoznBanon, Miguel & Candelas, Francisco & Torres, Fernando. (2020). Targetless Camera-LiDAR Calibration in Unstructured Environments. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2020.3014121.

2. Ewert, Daniel. "Edge Extraction by Merging 3D Point Cloud and 2D Image Data." 2013 10th International Conference and Expo on Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT), 2013.
3. D. L., A survey of edge detection techniques, 1975.
4. P. J., Object Enhancement and Extraction, 1970.
5. Sobel I., Feldman G. «A 3x3 Isotropic Gradient Operator for Image Processing», 1968
6. R. Kirsch, Computer determination of the constituent structure of biological images, 1971.
7. R. Canny, A Computational Approach to Edge Detection, 1986.
8. M. A. Fischler и R. C. Bolles, «Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography» Comm. Of the ACM: journal, № 24, pp. 381-395, 1981.
9. J. Shlens, A Tutorial on Principal Component Analysis, 2014.

УДК 528.022.4:57.087

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ДАННЫХ С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

П.С. Будылина, С.С. Лукша

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина», г. Рязань

В работе рассмотрен принцип оценки положения конечностей человека для управления манипуляционным мобильным роботом с использованием объединенных данных электромиографических сигналов и инерциальной системы навигации. Описаны основные компоненты управляющей системы и предложены методы их реализации.

Ключевые слова: электромиография, управляющая система, манипуляционный робот, объединение данных, инерциальная навигационная система.

HUMAN LIMBS POSITION ESTIMATION USING SENSOR DATA FUSION ALGORITHM

P.S. Budylina, S.S. Luksha

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

This paper is about development of algorithm for sensor data fusion from electromyography and inertial measurement systems. The aim of the algorithm is position estimation of human limbs for bionic prosthesis and other robotic systems control.

Key words: electromyography, control system, manipulation robot, sensor data fusion, inertial navigation system.

С вводом в эксплуатацию все большего числа промышленных и бытовых роботов актуальным становится вопрос их управления. В настоящее время способы контроля робототехническими комплексами на основе методов и средств телемеханики (от полностью автономных до телеуправления) сопряжены с необходимостью обеспечения качественного дистанционного контроля над ними. Проблема использования пульта управления связана с необходимостью обучения пользования им оператора, что усугубляется с ростом сочленений управляемой системы. Устройства копирующего типа (механические, инерциальные и визуальные), преобразующие базовые движения человека в команды управления мобильным роботом, должны обладать эффективной системой передачи этих сигналов. Управляющие воздействия, сформированные на основе электрической активности мышц человека при его естественных движениях, зависят от общего состояния конкретной мышечной системы и требуют серьезной предварительной обработки регистрируемых сигналов. В настоящей работе для оценки положения конечностей человека с целью управления манипуляционным роботом предлагается использовать данные, объединенные с таких измерительных устройств, как электромиографический модуль и инерциальная навигационная система (рис.1). Полученная результирующая информация с двух разрозненных датчиков будет иметь меньшую неопределенность, чем это было бы возможно, если бы эти источники использовались по отдельности.

Система сбора данных об электромиографической активности оператора (ЭМС) [1] позволяет сформировать и выделить пороговые значения приложенных усилий при сокращении исследуемых мышц человека. Данный метод весьма эффективен для решения задачи управления роботизированным манипулятором с одной степенью свободы, так как интуитивно понятен оператору и позволяет достаточно точно передать отдельные движения.

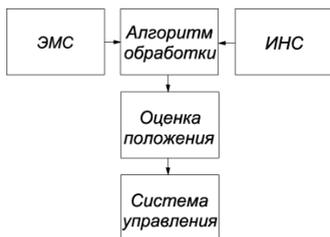


Рис. 1 – Структура системы объединения данных с электромиографического модуля (ЭМС) и инерциальной навигационной системы (ИНС) для оценки положения конечностей человека для управления робототехническим комплексом.

Инерциальная навигационная система (ИНС), представленная зачастую акселерометром, гироскопом и/или магнитометром, позволяет определить положение тела в пространстве. В случае с манипуляционным роботом, обладающим несколькими степенями свободы, ИНС предоставляет дополнительные данные для оценки положения конечности человека.

Данный подход может быть применим для управления многозвенным робототехническим комплексом [2] или протезами с несколькими степенями свободы, как верхних [3], так и нижних конечностей. Особый интерес представляет возможность прогнозирования последующей мышечной активности человека [4] на основе объединения данных с электромиографического модуля и данных инерциальной навигации.

Библиографический список

1. Разработка и исследование системы сбора данных об электромиографической активности оператора в задаче управления робототехническим комплексом. П.С. Будылина, С.С. Лукша// Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2021 [текст]: сб. тр. XXXIV Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 8-10 декабря 2021 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 412 с., ил.
2. Uzair Muhammad, Khadija Sipra, Muhammad Waqas, Shanshan Tu. Applications of Myo Armband using EMG and IMU Signals. IEEE 3rd International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation (ICMRA 2020)At: Shanghai, China.
3. Clemente Lauretти, Angelo Davalli, Rinaldo Sacchetti, Eugenio Guglielmelli. Fusion of M-IMU and EMG signals for the control of trans-humeral prostheses. 2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob).
4. Lin Meng, Jun Pang, Ziyao Wang, Rui Xu, and Dong Ming. The Role of Surface Electromyography in Data Fusion with Inertial Sensors to Enhance Locomotion Recognition and Prediction. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8473357/> (дата обращения 05.10.2022).

УДК 621.086.9

ВСТРАИВАЕМЫЙ КОНТРОЛЛЕР УПРАВЛЕНИЯ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ВРАЩЕНИЯ ЛИДАРА

В.С. Назарова

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина», г. Рязань

Рассмотрен процесс разработки платы управления бесколлекторным двигателем для прецизионного вращения лидара и приема измерительных данных о его текущем положении.

Ключевые слова: *прецизионное управление, магнитный энкодер, микроконтроллер, бесколлекторный двигатель.*

EMBEDDED MOTORLESS COMMUTATOR CONTROL CONTROLLER FOR PRECISION LIDAR ROTATION

V.S. Nazarova

Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin, Ryazan

Process of making board for control of selectorless motor for lidar precision rotation, receiving data from motor and heat-sensor is considered.

Key words: *precision control, magnetic encoder, microcontroller, a brushless motor.*

По мере развития технологий традиционные двигатели будут совершенствоваться и будут найдены новые области применения. Современные прецизионные станки и робототехника невозможны без электродвигателей с интеллектуальным управлением. На земле, в воздухе и под водой электродвигатели по-прежнему являются желанным преобразователем электрической энергии в механическую[1].

Рынок предлагает широкий спектр передовых решений для управления движением и точного позиционированием с помощью современных контролеров, которые позволяют электродвигателям плавно перемещаться в широком диапазоне напряжения и тока. [2]. Но при разработке управляющих систем, построенных на микросхемах, всегда стоит вопрос выбора оптимального состава аппаратурных средств и, прежде всего, микропроцессоров, обеспечивающих получение максимально возможной эффективности работы системы. В реальных условиях поиск соответствующих материалов для решения данного вопроса почти всегда оставался сложным из-за большой стоимости электронных компонентов, больших и неудобных габаритов и в способности мультизадачности.

В исследовательской работе прецизионная система управления электродвигателем постоянного тока включает в себя микроконтроллер для обработки данных и блок управления питанием обмоток двигателя, часто называемый драйвером. В состав драйвера входит логическая схема для преобразования кодированных посылок в цифровые управляющие сигналы, из которых формируются аналоговые сигналы для управления силовыми ключами на основе полевых транзисторов. Полевые транзисторы могут входить в состав драйвера или размещаться в отдельном блоке. В плату интегрирован магнитный энкодер, что делает устройство мультизадачным, увеличивает срок службы и при этом имеет компактный размер.

Контроллер управления может быть интегрирован в мотор, что в

конечном итоге повлияет на габариты и удобство в использовании небольших роботах, таких как - трубопроводный робот, лазерный лидар, инспекционный робот электростанции, беспилотный летательный аппарат. Само устройство считывает только вращение магнитного поля в плоскости x и y , из этого следует, что оно менее чувствительно к рассеиванию магнитных полей, изменениям воздушных зазоров и колебаниям магнита.

Библиографический список

1. Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2021 [текст]: сб. тр. XXXIV Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 8-10 декабря 2021 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 412 с., ил
2. И.В. Антошина, Ю.Т. Котов Микропроцессоры и микропроцессорные системы (аналитический обзор) Москва 2005 г.

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КАРАВАННОГО ВОЖДЕНИЯ <i>Е.А. Захарова, С.А. Голь</i>	3
ТЕХНОЛОГИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МИКРОЛИЦЕВЫХ ДВИЖЕНИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИСТИННЫХ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА <i>В.А. Саблина</i>	11
СЕКЦИЯ 1. МЕДИЦИНСКИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭРГАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ	18
ПОДДЕРЖАНИЕ ЗДОРОВЬЯ С ПОМОЩЬЮ САМОРЕГУЛЯТИВНОЙ ПРАКТИКИ <i>С.А. Сухих, Н.М. Богатов, А.Н. Богатова</i>	18
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ ПАТОЛОГИЙ В ВЕТЕРИНАРИИ <i>М.О. Журавель</i>	21
ОСОБЕННОСТИ ПРОФИЛАКТИКИ КОГНИТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ С УЧЕТОМ ИНТЕРЛЕЙКИНОВОГО СТАТУСА <i>И.В. Лев, В.Н. Чуриков, Э.В. Откидач</i>	24
СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕМОРА <i>С.В. Новикова</i>	27
«УМНАЯ» МИНИ-ТЕПЛИЦА: СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ В ЦИФРОВИЗАЦИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА <i>В.О. Лычагина</i>	29
СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ СЕРДЦЕБИЕНИЯ ПЛОДА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКОГО СИГНАЛА <i>О.В. Мельник, К.И. Хижняк</i>	32
АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ДВУОКСИ УГЛЕРОДА В ВЫДЫХАЕМОЙ ЧЕЛОВЕКОМ ГАЗОВОЙ СМЕСИ <i>О.В. Мельник, Д.П. Родионова</i>	35
ПУЛЬСОВЫЙ ОКСИМЕТР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПИЛОТА <i>Д.С. Коптев, Ю.В. Шуклина</i>	38
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕЛОДИЧНОЙ КЛАССИЧЕСКОЙ МУЗЫКИ НА СЕРДЕЧНЫЙ РИТМ ЧЕЛОВЕКА <i>О.Н. Лифанова, В.Г. Супрун</i>	42
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКА РАЗВИТИЯ ТРОМБОЭМБОЛИИ ЛЕГОЧНОЙ АРТЕРИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТРОМБА В ВЕНАХ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ <i>А.В. Полякова, П.С. Азарова, А.В. Быков, Н.А. Корневский, А.В. Винников, Н.А. Милостная, О.В. Ефименко, С.А. Пархоменко</i>	45

АНАЛИЗАТОР ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КРОСС-КОРРЕЛЯЦИИ <i>О.В. Мельник, Е.С. Сосина</i>	50
ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ОПТИЧЕСКОГО КОГЕРЕНТНОГО ТОМОГРАФА <i>А.Р. Мазитова</i>	53
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ СКАНЕР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ И КОНФИГУРАЦИИ НЁБА <i>Т.И. Мурашкина, Т.В. Паришкова, В.А. Бадеев</i>	57
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕКОМПЕНСАЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ НАРУШЕНИИ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ <i>О.В. Ефименко, А.В. Полякова, П.С. Азарова, А.В. Быков, Н.А. Корневский, А.В. Винников, А.В. Быков, И.В. Медведев</i>	59
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПАЦИЕНТА ВО ВРЕМЯ СЕАНСА МАГНИТОТЕРАПИИ <i>О.В. Аникина, С.Г. Гуржин</i>	64
ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПОР КАЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ <i>И.И. Хайрутдинов, В.В. Марков</i>	69
БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОДЕЖДЫ И УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЧЕЛОВЕКА В ОДЕЖДЕ <i>В.Э. Тришин, В.В. Марков, М.В. Яковенко</i>	72
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕРЕБРАЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ В ДИНАМИКЕ У ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТЛ-КОНТРАСТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ <i>Н.В. Голубова, Е.С. Серёгина, Е.Ф. Шевцова, В.В. Дрёмин, Е.В. Потапова¹</i> .	75
ПРИМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЦИФРОВОЙ ДИАФАНОСКОПИИ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНЫХ ПАЗУХ <i>Е.О. Брянская</i>	78
ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА СПЕКТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ТКАНЕЙ ПЕЧЕНИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЖЕЛТУХЕ <i>К.Ю. Кандурова, Д.С. Сумин, А.В. Мамошин, Е.В. Потапова</i>	81
СИСТЕМА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОЙ РЕГИСТРАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРЕМОРА <i>М.В. Беликова, С.Г. Гуржин</i>	84
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОВЕРКИ СОХРАННОСТИ СЛУХОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ <i>К.Н. Болсунов, А.Е. Гапаненко</i>	87
МЕТОД НЕИНВАЗИВНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ВАГУСНОГО НЕРВА <i>Е.В. Садыкова, А.Е. Гапаненко</i>	89

ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛОВ РЕГИСТРАЦИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПАЦИЕНТА ВО ВРЕМЯ СЕАНСА МАГНИТОТЕРАПИИ	
<i>А.В. Шуляков</i>	92
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В СТАБИЛОГРАФИИ	
<i>М.С. Галушка, В.Ю. Вишиневецкий</i>	96
РАЗРАБОТКА ТОКОВОГО СТИМУЛЯТОРА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ПРОЛЕЖНЕЙ	
<i>Д.Ю. Переводчиков, Е.Ю. Дикман</i>	98
ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	
<i>А.С. Терентьев</i>	102
РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПОРЦИИ	
<i>Н.В. Рисованный, С.С. Климашевский</i>	105
СЕКЦИЯ 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ	109
АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИИ ВЫБОРА СОСТАВА ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ	
<i>В.В. Аксенов, О.Ю. Больбина, Р.В. Степашов</i>	109
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИКИ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ НА КОГНИТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА	
<i>К.В. Сидоров</i>	113
БЕСКОНТАКТНАЯ АКУСТОГРАФИЯ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ СИНДРОМА ОБСТРУКТИВНОГО АПНОЭ СНА	
<i>Ю.Г. Горшков</i>	116
АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО СИГНАЛАМ ЛИЦЕВОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ	
<i>К.В. Сидоров, Ю.В. Сидорова</i>	121
РОЛЬ ТЕСТ-СИСТЕМ COVID-19 В ОБЕСПЕЧЕНИИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	
<i>Д.А. Кузнецов, Е.М. Бабкина, Д.Д. Лукашина, А.В. Захаров</i>	124
АЛГОРИТМ ВЫЯВЛЕНИЯ АРИТМИИ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ В СРЕДЕ МАТЛАВ	
<i>А.С. Бугрова, Е.П. Виноградова</i>	128
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ВИБРАЦИИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПИЛОТА В ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ «ПИЛОТ - ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ - ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА»	
<i>Д.С. Коптев, Ю.В. Шуклина</i>	130

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПИЛОТА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПОЛЕТНЫХ ФАКТОРОВ	
<i>Д.С. Коптев, Ю.В. Шуклина</i>	133
МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ: ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА	
<i>В.А. Соловьева</i>	136
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫЯВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖНОГО ПОКРОВА	
<i>А.З. Яфаров, Н.А. Железняк</i>	139
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПРАКТИК ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ И ДЫХАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	
<i>И.С. Доржиева, А.З. Яфаров</i>	145
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СТРЕСС-ИНДУЦИРОВАННОЙ ГИПЕРТОНИИ	
<i>Д.С. Дашкевич, А.З. Яфаров</i>	148
АНАЛИЗ ШУМОВОЙ ДОРОЖКИ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФА	
<i>В.Г. Андреев, Е.А. Жирков</i>	153
КЛАССИФИКАЦИЯ ДАННЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ЛИНЕЙНОГО ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА	
<i>П.В. Сосунова, А.Н. Калинин, А.В. Рубинский</i>	156
ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛИСТЬЕВ НА ИХ ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ПРОЦЕССЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ РАСТЕНИЙ	
<i>С.О. Пензева, М.В. Суханова, Л.А. Бондарева</i>	159
ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА «ДИАГРАММА ПАРЕТО» ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ	
<i>М.В. Диброва</i>	162
УСТРОЙСТВО ОЦЕНКИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА РАДИОЛОКАЦИОННЫМ МЕТОДОМ НА ОСНОВЕ ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЫ AWR1642BOOST	
<i>А.А. Захаркин, Т.А. Витязева, С.В. Витязев, А.А. Михеев</i>	165
СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ПРОФИЛЬНЫХ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ В РОССИИ НА МАТЕРИНСКУЮ СМЕРТНОСТЬ	
<i>А.А. Гребенищикова</i>	168
3D АГРЕГАТОР МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ И МЕДИКОВ	
<i>Д.А. Бородин, А.В. Пушкарева</i>	171

АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ПАЦИЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ПУЛЬМОНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАТОЛОГИЯМИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ	
<i>Н.О. Антипов, А.Н. Калиниченко</i>	174
СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПОРТАТИВНОГО СПЕКТРОФОТОМЕТРА ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЗАДАЧ	
<i>Е.Н. Шалобыта, И.П. Корнеева</i>	177
МЕТОДЫ СЕГМЕНТАЦИИ НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО КОНТУРА ДЛЯ АНАЛИЗА МЕДИЦИНСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ	
<i>И.А. Зинин, В.И. Жулев</i>	180
СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА СИГНАЛА ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ	
<i>Е.А. Кошаев, А.Э. Файзулин</i>	183
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ХОДЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
<i>Е.В. Суховерхая, А.Н. Калиниченко</i>	186
ПОДГОТОВКА НАБОРА ВЕКТОРОВ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МИКРОЛИЦЕВЫХ ДВИЖЕНИЙ	
<i>В.А. Саблина, А.Д. Черненко</i>	190
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕСКРИПТОРОВ КЛАССИФИКАТОРОВ СНИМКОВ ВИДЕОРЕЯДА	
<i>И.Н. Горбачев, В.В. Песок, А.Е. Пиеничный</i>	193
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ	
<i>А.А. Галиева</i>	196
РАЗВИТИЕ ПРЕМЕНЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА	
<i>Т.Д. Хусаинов</i>	199
ВЫБОР ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПОЛЕФОРМИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА	
<i>М.Б. Каплан</i>	202
ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА «КОНТРОЛЬНЫЙ ЛИСТОК» ДЛЯ АНАЛИЗА ГИБЕЛИ КЛЕТОК	
<i>Т.П. Евтеева</i>	205
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕГУЛЯЦИИ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ ПОСТУРАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ	
<i>Т.В. Сергеев, А.А. Анисимов</i>	207
МОДЕЛЬ БЫСТРОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ	
<i>А.А. Анисимов, А.А. Навроцкая, А.И. Скоробогатова</i>	211

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ КОМПАКТНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО МЕДИЦИНСКОГО ТРЕНАЖЕРА- СИМУЛЯТОРА	
<i>М.А. Сидорова, С.О. Зюзин</i>	214
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	
<i>Д.Р. Батраков</i>	217
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ	
<i>П.А. Агеев, Н.И. Иванова</i>	220
АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ И МЕТОДИКИ АТТЕСТАЦИИ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	
<i>К.Ф. Муравьева, Н.И. Иванова</i>	223
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЪЕМА БИОТКАНИ ДЛЯ ПОРТАТИВНОГО АНАЛИЗАТОРА ПЕРФУЗИОННО- МЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ	
<i>Е.В. Жарких</i>	227
АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОВЕДЕНИЮ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ	
<i>А.В. Губарев, С.В. Губарева, А.В. Балакина</i>	229
АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ РЕГЛАМЕНТА MDR	
<i>А.В. Губарев, С.В. Губарева, Е.А. Ефремова</i>	233
ТРЕБОВАНИЯ РЕГЛАМЕНТА MDR К БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ	
<i>А.В. Губарев, С.В. Губарева, Е.А. Ефремова</i>	236
МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ	
<i>А.В. Черенков</i>	240
ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА	
<i>А.В. Губарев, В.А. Соболева</i>	242
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ИЗМЕРЕНИЙ	
<i>А.В. Губарев, В.А. Соболева</i>	245
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МОЛОКА	
<i>А.О. Акчулпанова</i>	249
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ	
<i>Е.С. Балашова</i>	251
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ	
<i>Ю.Е. Гусакова, И.С. Питюрин</i>	254
МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК	
<i>Д.Д. Десятова</i>	257

СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ	
<i>А.А. Жильников, Т.А. Жильников, В.И. Жулев</i>	260
АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ	
<i>А.Д. Соловьева, И.С. Питюрна</i>	263
РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УПРАЖНЕНИЙ	
<i>М.С. Ашапкина</i>	266
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ АНАЛИЗА БИОМЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ	
<i>Г.А. Машевский, К.Д. Матов</i>	269
ОБЪЕМНАЯ ОСЦИЛЛОМЕТРИЯ В АНАЛИЗЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕРДЕЧНОГО ИНДЕКСА	
<i>Е.В. Пимахина, И.С. Селиверстов, А.А. Пимахин, Н.М. Толкач, Е.П. Матюхин, А.А. Пимахин, Е.Н. Радченко</i>	272
ОБЪЕМНАЯ ОСЦИЛЛОМЕТРИЯ В АНАЛИЗЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЩЕГО ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СОСУДОВ	
<i>Е.В. Пимахина, И.К. Мамонтова, А.А. Пимахин, Н.М. Толкач, Е.П. Матюхин, А.А. Пимахин, Е.Н. Радченко, А.В. Фетисова</i>	278
ОБЪЕМНАЯ ОСЦИЛЛОМЕТРИЯ В АНАЛИЗЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕРДЕЧНОГО ВЫБРОСА	
<i>Е.В. Пимахина, О.В. Окрут, А.А. Пимахин, Н.М. Толкач, Е.П. Матюхин, А.А. Пимахин, А.А. Супряга</i>	282
МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ	
<i>А.В. Николаев, О.В. Мельник, М.С. Ашапкина</i>	285
СЕКЦИЯ 3. ТЕЛЕМЕДИЦИНА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ	290
ВЕБ-СЕРВИС КАК ИНСТРУМЕНТ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ С ИЗБЫТОЧНЫМ ВЕСОМ	
<i>И.С. Каверина, Ю.Г. Самойлова, И.В. Толмачев</i>	290
ТЕНДЕНЦИИ, КОТОРЫЕ ИЗМЕНЯТ ПЕРСПЕКТИВЫ ОТРАСЛИ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	
<i>С.В. Фролов, Т.А. Фролова</i>	292
КТО ВХОДИТ В ТОП-10 КОМПАНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В МИРЕ В 2022 ГОДУ?	
<i>С.В. Фролов, Т.А. Фролова</i>	296

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ БИЗНЕС-СИСТЕМ	
<i>О.В. Тихоненкова, А.С. Данилова, Н.А. Горелова</i>	300
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВ МАГНИТОТЕРАПИИ	
<i>А.А. Амосов</i>	303
3D МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕРДЦА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	
<i>В.А. Гасанова, А.В.Пушкарева, А.И. Жиленко, Д.А.Бородин</i>	305
СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ПОДАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПОМЕХ В СИГНАЛАХ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ	
<i>О.А. Демочкина, С.Ф. Лёвин, Л.Ю. Кривоногов</i>	308
РАЗРАБОТКА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОНТРАСТА МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	
<i>А.В. Никитина, Ю.В. Богачев</i>	313
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ	
<i>М.Ю. Костенкова, М. А. Сидорова</i>	317
СЕМАНТИЧЕСКИЙ ЧАТ-БОТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАТОЛОГИЙ БЕРЕМЕННОСТИ	
<i>Д.С. Рипка</i>	320
РЕАЛИЗАЦИЯ СЛОЖНЫХ ДИСКРЕТНЫХ ОТСЧЕТОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ	
<i>Ю.А. Булгаков, А.А. Михеев</i>	322
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛОСА ЧЕЛОВЕКА В ПРОЦЕССЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
<i>А.А. Кормилицин, С.А. Калинина, А.Г. Меркулова</i>	325
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРВИСОВ ОНЛАЙН-ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ НУЖД МЕДИЦИНСКОЙ СТАТИСТИКИ	
<i>Т.С. Рязжских</i>	329
УНИКАЛЬНЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ОБУЧАЮЩИЕ VR-ТРЕНАЖЕРЫ	
<i>М.А. Грачев, Н.Л. Аношкина, Ю.Н. Батищева</i>	331
РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ БЕРЕМЕННОЙ ЖЕНЩИНЫ	
<i>В.М. Гуцин, И.П. Корнеева</i>	334
ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНЕ	
<i>Т.Г. Авачева, М.А. Шмонова</i>	336

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПРОГРАММЕ STATISTICA. СРАВНЕНИЕ ДВУХ НЕЗАВИСИМЫХ ГРУПП	
<i>А.В. Беседин</i>	340
ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ, ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА	
<i>Н.А. Булатов</i>	343
ПРИМЕНЕНИЕ VR – ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ	
<i>Е.Д. Высоколова, О.А. Милованова</i>	345
ЭЛЕМЕНТЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МАММОГРАФИИ	
<i>Ю.В. Зубцова, Д.О. Марьина</i>	348
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ BIG DATA ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ	
<i>А.А. Мелихова, Д.Ю. Павлов</i>	352
ПРИНЦИПЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭХОЭНЦЕФАЛОСКОПИИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ КРУПНЫХ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА	
<i>Н.В. Муравьева</i>	355
ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ В КЛИНИЧЕСКУЮ ПРАКТИКУ СППВР	
<i>М.Д. Ситоленко</i>	358
РОЛЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ	
<i>И.Д. Сабитов</i>	361
ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ПАРАМЕТРОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО КРОВОТОКА ПРИ ЭПИЛЕПСИИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ	
<i>Ю.И. Локтионова, А.В. Жидков</i>	363
УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА ПРИСТУПОВ ЭПИЛЕПСИИ	
<i>Э.А. Даминова, В.С. Сергеев</i>	367
МЕТОД КОНТРОЛЯ ПРАВИЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ УПРАЖНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ	
<i>О.В. Мельник, А.В. Алпатов, М.С. Ашапкина</i>	370
СЕКЦИЯ 4. ДАТЧИКИ, ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ, ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА	374
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЕ КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ ПАТОЛОГИИ В ВЕТЕРИНАРИИ	
<i>Н.М. Богатов, М.О. Журавель</i>	374
ПРЕЦИЗИОННОЕ ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОЕ ФОТОПРИЁМНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	
<i>Е.И. Чернов</i>	377
ВИДЫ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ	
<i>Л.А. Габитова</i>	380

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ОДНОКАНАЛЬНОЙ ЭКГ	
<i>И.С. Полищук, К.В. Сидоров</i>	383
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ КРОВИ ПРИ КОАГУЛЯЦИИ	
<i>П.С. Власов, А.А. Аристов, А.В. Шамонин</i>	386
РЕНТГЕНОВСКАЯ ТРУБКА КАК ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЙ ТРИОД	
<i>Д.А. Дедов</i>	389
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ТИПИРОВАНИЯ КРОВИ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	
<i>А.А. Аристов, Ю.Н. Ворончихина, Е.И. Гладкова, Ю.А. Розенбаум</i>	392
РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ЛОКТЕВОГО СУСТАВА	
<i>М.И. Забудько</i>	395
КЛАССИФИКАЦИЯ ДАТЧИКОВ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ В ЭКЗОСКЕЛЕТАХ.	
<i>Р.Р. Гиляева</i>	398
ДВУМЕРНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАРДИОРЕСПИРАТОРНЫХ СИГНАЛОВ В ЛАТЕНТНОМ МОНИТОРИНГЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ГРУППЫ ПАЦИЕНТОВ	
<i>А.В. Бутусов, Р.И. Сафронов, С. Кадырова</i>	400
РЕГИСТРАТОР ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАММЫ ДЫХАТЕЛЬНЫХ МЫШЦ	
<i>А.А. Кузьмин, А.В. Серебровский, Хайдер Али Хуссейн Алавси</i>	404
РАСШИРЕННЫЙ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРОВИ	
<i>В.К. Тетерина</i>	407
РОЛЬ АЦП В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ	
<i>А.М. Абрамов</i>	409
НЕДОСТАТКИ ОБЩЕПРИНЯТОГО ГИСТОГРАММНОГО МЕТОДА ИСПЫТАНИЙ АЦП	
<i>А.М. Абрамов</i>	412
ПОДГОТОВКА ВОЛОКОННО - ОПТИЧЕСКИХ КОЛЛЕКТОРОВ	
<i>А.В. Рочагов, А.В. Жолобов, И.С. Явелов</i>	414
ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ В МИКРОЦИРКУЛЯТОРНО-ТКАНЕВЫХ СИСТЕМАХ ТЯЖЕЛОАТЛЕТОВ ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ	
<i>И.Ю. Власов, Ю.И. Локтионова, Е.В. Жарких, Г.М. Бойко, И.В. Быкова, Ф.Б. Литвин, А.В. Дунаев</i>	418
ФОТОИОНИЗАЦИОННОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ В ДЫХАТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ	
<i>Н.И. Иванова</i>	422

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДРОЖАТЕЛЬНЫХ ГИПЕРКИНЕЗОВ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ	
<i>И.Н. Бирюков, Э.А. Даминава</i>	427
РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ ВЕРХОВОЙ ЕЗДЫ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ	
<i>Л.С. Лотоцкая, Э.А. Даминава</i>	430
УСТРОЙСТВО СБОРА ИНФОРМАЦИИ ОБ УСТАЛОСТИ ВОДИТЕЛЯ	
<i>Горбунов А.С.</i>	434
НЕИНВАЗИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ТОКОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>А.А. Жильников, Т.А. Жильников, В.И. Жулев</i>	435
СЕКЦИЯ 5. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ, РОБОТИЗИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ	439
АДАПТИВНОЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ СПОСОБОМ МУЛЬТИПЛЕКАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ИНФОРМАТИВНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ	
<i>Ефимов А.И., Самохина М.С.</i>	439
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННО- ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БПЛА	
<i>С.И. Елесина, Т.М. Караева, Е.Р. Муратов, О.Н. Олейникова</i>	443
РАСПОЗНАВАНИЕ ЖЕСТОВ В БЕСКОНТАКТНОМ УПРАВЛЕНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ	
<i>А.В. Ефремов, Е.Р. Муратов, М.Б. Никифоров, А.Н. Хутев</i>	446
СПЕКТРАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ КУСОЧНО-СТАЦИОНАРНЫХ СИГНАЛОВ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ	
<i>В.А. Чан, В.Г. Андреев</i>	448
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ БИОНИЧЕСКИХ РУК ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ	
<i>Н.В. Рузанова</i>	451
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ	
<i>Д.Ш. Багаутдинова</i>	455
КРИПТОЗАЩИЩЕННЫЙ ЗАГРУЗЧИК ВСТРАИВАЕМОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	
<i>Д.А. Соловьев</i>	458
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ ПО СЦЕНАРИЮ	
<i>В.А. Пархачев, С.С. Лукаша</i>	461

ВЫДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ В НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЛАКАХ ТОЧЕК	
<i>В.С. Шустов, М.Б. Никифоров, С.А. Голь</i>	462
КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ДАННЫХ С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА	
<i>П.С. Будылина, С.С. Лукша</i>	466
ВСТРАИВАЕМЫЙ КОНТРОЛЛЕР УПРАВЛЕНИЯ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ВРАЩЕНИЯ ЛИДАРА	
<i>В.С. Назарова</i>	468

Научное издание

**XXXV Всероссийская научно-техническая конференция
студентов, молодых ученых и специалистов
«Биотехнические, медицинские и экологические системы,
измерительные устройства и робототехнические комплексы»
(БИОМЕДСИСТЕМЫ – 2022)**

Под общей редакцией В.И. Жулева

Подписано в печать 29.11.2022 г. Формат бумаги 60x84/16.

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл.- печ. листов 30,25.

Уч.-изд. листов 484. Тираж 30 экз. Зак. 3686

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина»

390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1

Издательство Коняхин А.В. (Book Jet)

Отпечатано в типографии «Book Jet»

390005, г. Рязань, ул. Пушкина, д.18

Сайт: <http://bookjet.ru>

Почта: info@bookjet.ru

Тел.: +7(4912) 466-151

ISBN 978-5-907568-48-8



9 785907 568488 >