

БЕСПРОВОДНОЙ МОНИТОРИНГ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПАЦИЕНТА

А. С. Багдасарян¹, С. А. Багдасарян¹, В. И. Николаев¹,
О. В. Кашенко¹, С. О. Николаева¹, Е. Р. Павлюкова²

¹ Научно-производственное предприятие “Технологии радиочастотной идентификации связи”, 127051 Москва, Сухаревская пл. 4, стр. 1

² Московский физико-технический институт (государственный университет), 141701, Долгопрудный, Институтский переулок, 9

Статья поступила в редакцию 13 июня 2019 г.

Аннотация. Представлен пациент-ориентированный подход в управлении лечебно-диагностическим процессом с использованием инфо-коммуникационных систем и стремительно развивающейся технологии поверхностных акустических волн (ПАВ). Проведен краткий анализ и патентные исследования технологии построения пассивных интеллектуальных датчиков на ПАВ. Впервые сформулированы требования к системам беспроводного мониторинга текущего состояния пациента на их основе. Найденные оптимальные решения радиочастотных компонентов (РК) для пассивных интеллектуальных датчиков на ПАВ подтверждают возможность создания систем беспроводного мониторинга нового поколения. Разработаны как принципы проектирования, методика расчёта характеристик кристаллов РК и меток различной разрядности на основе Р-матричного метода, так и базовые технологии изготовления ПАВ кристаллов, включая автоматизированное топологическое проектирование, и их монтаж в керамике LTCC.

Проведен системный анализ существующих информационных технологий поддержки принятия решений при проведении лечебно-диагностических мероприятий в процессе диагностики и лечения больных АГ, а также обоснованы и формализованы основные показатели по комплексной оценке его эффективности.

Ключевые слова: беспроводной мониторинг, биологические сигналы, сердечно сосудистой системы, поверхностные акустические волны (ПАВ), радиочастотная идентификация (РЧИ), метка, невзаимные устройства.

Abstract. The patient-oriented approach in the management of medical and diagnostic process using information and communication systems and rapidly developing technology of surface acoustic waves (SAW) is presented. A brief analysis and patent research of the technology of construction of passive intelligent sensors on SAW are carried out. The requirements for wireless monitoring of the current state of the patient on their basis are formulated for the first time. The found optimal solutions of radio frequency components (RFC) for passive smart SAW sensors confirm the possibility of creating a new generation of wireless monitoring systems. Developed as the design principles, methods of calculation of parameters of crystals of RFC and tags, differing based on P matrix method and the basic manufacturing technology of SAW crystals including computer-aided topological design, and their installation in the LTCC ceramics. The system analysis of existing information technologies to support decision-making in the conduct of medical and diagnostic activities in the diagnosis and treatment of patients with hypertension, as well as justified and formalized the main indicators for a comprehensive assessment of its effectiveness.

Keywords: wireless monitoring, biological signals, cardiovascular system, surface acoustic waves (SAW), radio frequency identification (RFID), tag, non-reciprocal devices.

Введение

Практикуемая в настоящее время методология здравоохранения, основанная на использовании среднестатистических показателей и стандартных схем лечения, является недостаточно эффективной. Эта методология использует обобщенные методики диагностики состояния больного, что не всегда позволяет обеспечить не только индивидуальное распознавание ранних форм заболеваний и решения различных, связанных с ними рисков негативных последствий, но и в целом ряде случаев не обеспечивает эффективность и безопасность лечения. В наиболее развитых Европейских странах предложена и бурно развивается новая концепция системы охраны здоровья населения.

Согласно этой концепции основные задачи охраны здоровья не всегда лежат в плоскости высокотехнологичных методов лечения, а базируются на первичной профилактике и ранней диагностике. **Основной составляющей новой концепции является регулярный мониторинг и оценка рисков состояния здоровья населения, персонализация здравоохранения, оказание оперативной медицинской помощи с учетом индивидуальных особенностей организма пациента.** Новая концепция здравоохранения обуславливает необходимость использования современных информационных технологий (ИТ), что позволит сформировать в РФ систему высококачественного и доступного здравоохранения, минимизировать при этом риски внезапной смерти пациентов. Существующие системы оказания медицинской помощи больным основаны на предоставлении медицинских услуг только в случае возникновения заболеваний и непосредственного обращения к врачу. Эти системы реализованы на сети лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ), где имеется необходимое медицинское оборудование и медицинские кадры. Они не всегда отвечают требованиям оперативности, мобильного мониторинга и диспансеризации, учета индивидуальных особенностей организма пациента. Использование телекоммуникационных систем совместно с технологией «sensor-on-a-chip» позволит реализовать методологию «госпиталь на дому» (hospital at home). Эта методология позволяет осуществлять мониторинг функционального состояния и оказывать медицинскую помощь пациентам независимо от их местонахождения, в особенности в домашних условиях. При этом источниками объективной информации являются встроенные датчики в составе мобильных измерительных систем, выполненных по технологиям «sensor-on-a-chip» и «laboratory-on-a-chip». В последнее время наблюдается устойчивый интерес к таким технологиям, среди которых особое внимание обращает на себя стремительно развивающиеся технологии поверхностных акустических волн (ПАВ) и телекоммуникационных систем на их основе [1-5], позволяющие **в режиме реального времени** получать информацию, необходимую для выбора

наилучшего решения логистических задач управления в различных сферах деятельности человека. Телекоммуникационная система регистрации биосигналов с помощью датчиков на ПАВ позволит осуществлять мониторинг состояния пациента, не ограничивая его мобильности. Географическое местоположение пациента в этом случае не имеет значения при определении его функционального состояния. Биосигналы, регистрируемые датчиками, передаются по каналам связи в медицинские центры и обработки медицинской информации.

1. Исследования возможности создания систем мониторинга нового поколения в процессе диагностики и лечения сердечно-сосудистой системы пациента

Беспроводной мониторинг показателей сердечно-сосудистой системы пациента обусловлен следующими требованиями:

- повышением безопасности физических и психофизиологических воздействий, вызванных нахождением на теле пациента большого количества проводных соединений при проведении суточного мониторирования, а также в отделениях интенсивной терапии;

- расширением функциональных возможностей мониторинга за счет инновационных техник и технологий, в т.ч. радиочастотной идентификации (РЧИ) и технологии поверхностных акустических волн (ПАВ);

- повышением эффективности анализа показателей сердечно-сосудистой системы пациента за счет использования интеллектуальных датчиков, в том числе на ПАВ;

- повышением экономической эффективности мониторинга путем расширения аудитории пациентов (увеличения койко-мест в отделениях интенсивной терапии).

Развитие систем беспроводного мониторинга биологических сигналов показателей состояния пациента, на наш взгляд, возможно только с проведением междисциплинарных фундаментальных исследований. Одной из главных составляющих системы беспроводного мониторинга, обеспечивающей

не инвазивный характер диагностики сердечно-сосудистой системы [4] являются интеллектуальные устройства на поверхностных акустических волнах (ПАВ) [5] и материалы полупроводниковой и функциональной электроники [6].

Система функционирует по принципу радиолокатора с пассивной целью. (Рис.1). Датчик на ПАВ работает в разрешённых для устройств малого радиуса действия SRD диапазонах в режиме линии задержки в разрешённых диапазонах частот. Датчик на ПАВ, работающий в режиме линии задержки, условно обозначим, как «ПАВ датчик 1-го типа».

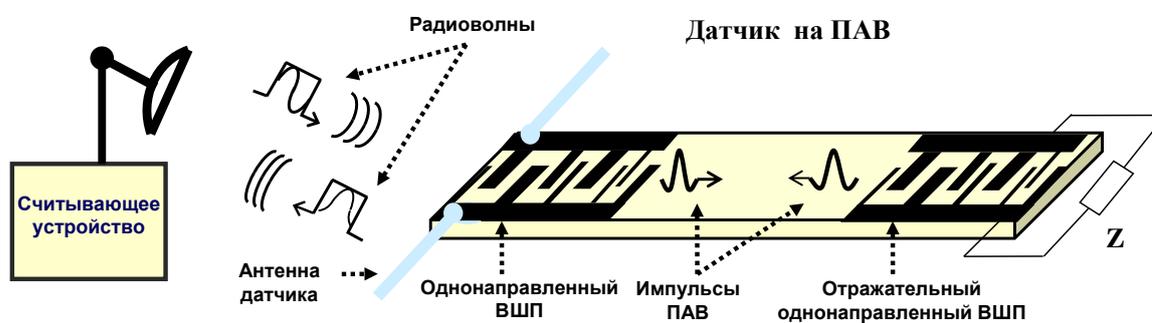


Рис.1. Схема беспроводного мониторинга физических параметров показателей сердечно-сосудистой системы пациента.

В ПАВ датчике используется подключение к отражательному встречно штыревому преобразователю (ВШП) внешней нагрузки Z – чувствительного элемента-сенсора вибраций [7], показанного на рис.2. В зависимости от воздействия (давления, пульсовой волны) пациента, на теле которого находится (находятся) сенсор (сенсоры) Z существенно изменяются физические характеристики ПАВ-структуры отражательного ВШП, приводящие к изменению условий распространения поверхностных акустических волн. В результате, через 5-20 мкс в антенне появляется отражённый сигнал, который излучается в пространство и может быть успешно обнаружен приёмным мультипроцессорным устройством. Приёмное устройство принимает отражённый сигнал, проводит измерения его параметров и при необходимости принимает то или иное верное решение.

Датчик на ПАВ содержит корпус - *K*, в котором находится пьезоэлектрический звукопровод - *П*, на рабочей поверхности которого расположены приемо-передающий ВШП - 3, который через выводы 2 соединен с антенной - 3, и отражательные ВШП 4, один из которых отражательный ВШП - 5 соединен через выводы - 6 с импедансом, состоящим из последовательно соединенных индуктивности *L*-7 и мембранного конденсатора. Этот мембранный конденсатор состоит из основания *O*, на котором выполнены центральный электрод - 8 и крайние электроды - 9, которые соединены между собой тонкой упругой металлической пластиной - 10 таким образом, что между центральным электродом - 8 и металлической пластиной - 10 имеется зазор - 11. Элементы 8-11 образуют мембранный конденсатор - *C*, а индуктивность *L*-8 и мембранный конденсатор - *C* образуют LC-контур.

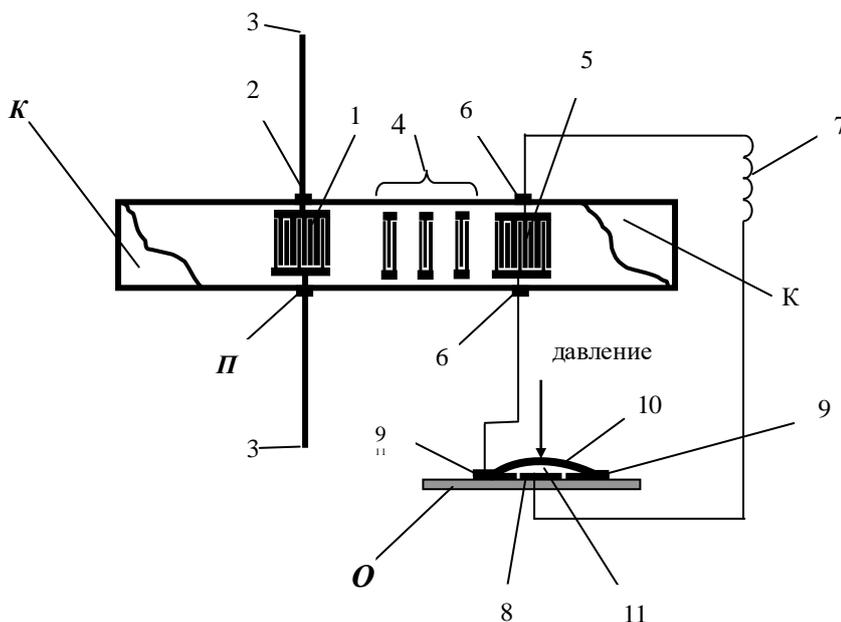


Рис.2. Базовая конструкция датчика на ПАВ.

Опишем принцип работы датчика. Приемо-передающий ВШП-1 вследствие обратного пьезоэффекта излучает ПАВ под действием опросного импульса, посылаемым считывателем на антенну-3 датчика. ПАВ, отраженные от отражательного ВШП-6, поступают на приемо-передающий ВШП-1, где преобразуются в электромагнитный импульс,

который излучается антенной - 3 датчика давления обратно на считыватель. При воздействии давления на металлическую пластину - 10 зазор - 11 между ней и центральным электродом - 10 изменится, что приведет к изменению емкости мембранного конденсатора. Следовательно, импеданс, подключенный к выводам - 6 отражательного ВШП-5, также изменится. Это, в свою очередь, вызовет изменение коэффициента отражения ПАВ от отражательного ВШП-5. Тогда амплитуда отраженных от него ПАВ также изменится. Следовательно, изменится и амплитуда импульса, который излучается датчиком давления обратно на считыватель, так как амплитуда этого импульса будет зависеть от давления на металлическую пластину - 10 мембранного конденсатора.

Более того, топология ПАВ датчика (см. верхнюю часть Рис.2) может включать отражающие полоски, вместо показанных на рис.2 отражающих ВШП -4, выполненные на поверхности кристалла датчика между приемопередающим-1 и отражательным ВШП-5 для формирования уникальной кодовой последовательности, что в свою очередь обеспечивает радиочастотную идентификацию (аутентификацию) каждого пациента [8]. Так, изготовление всего 4-х отражателей или отражающих ВШП, не связанных электрически с мембранным конденсатором, реализуют аудиторию из 16 уникальных кодов, что соответствует одновременному беспроводному мониторингу 16 пациентов, находящихся в одной аудитории, например палате интенсивной терапии.

Датчик информации работает в разрешенных для устройств малого радиуса действия SRD диапазонах в режиме линии задержки в разрешенных полосах частот.

В преобразователе создаются акустические колебания при облучении электромагнитным сигналом от антенны. В зависимости от факторов воздействия внешней среды (давления, температуры, и др.), в сенсоре изменяются физические характеристики чувствительного элемента ПАВ-структуры, которые приводят к изменению параметра скорости и условий

распространения поверхностных акустических волн в активной пьезоэлектрической среде подложки.

На рис.3 представлена альтернативная схема беспроводного мониторинга физических параметров показателей сердечно-сосудистой системы пациента, в которой датчик на ПАВ работает совместно с антенной в одном рабочем диапазоне частот и, как пассивная структура, выполняется на подложке, которая содержит встречно-штыревой преобразователь (ВШП) акустических волн и ряд отражающих полосок, выполняющих функцию радиочастотной идентификации и аутентификации [8]. Назовем такие датчики – датчиками 2-го типа.

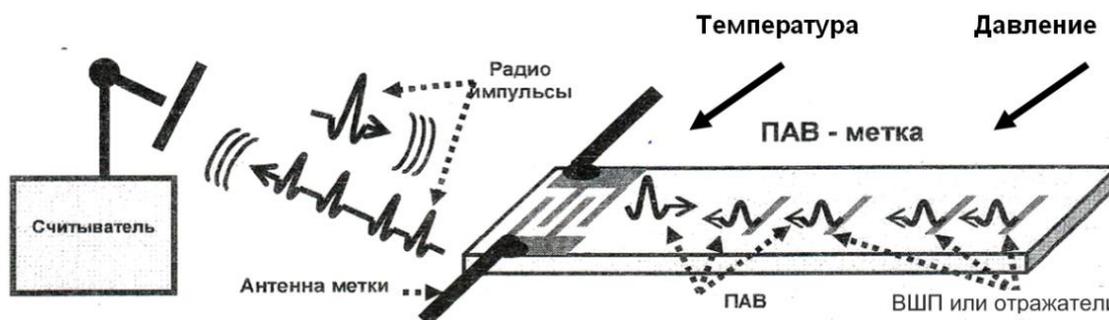


Рис. 3. Схема беспроводного мониторинга физических параметров показателей сердечно-сосудистой системы пациента.

В преобразователе создаются акустические колебания при облучении электромагнитным сигналом от антенны. В зависимости от физических параметров показателей сердечно-сосудистой системы пациента (давления, вибраций, температуры, и др.) на поверхности звукопровода, как чувствительного элемента датчика, изменяются физические характеристики ПАВ-структуры, которые приводят к изменению параметра скорости и условий распространения поверхностных акустических волн в активной пьезоэлектрической среде подложки.

Описанные выше схемы беспроводного мониторинга физических параметров показателей сердечно-сосудистой системы пациента и базовые конструкции ПАВ датчика открывают широкие функциональные возможности и помогают врачу оперативно отслеживать динамику показателей сердечно-

сосудистой системы:

- прогнозировать опасные для жизни осложнения на ранних стадиях,
- в режиме реального времени дистанционно оценивать параметры сердечно-сосудистой системы при проведении СМАД и ХМ ЭКГ,
- оценивать различия тонического состояния сосудов,
- оценивать вариабельность сердечного ритма,
- наблюдать изменения сердечного ритма и АД в режиме реального времени

и принимать верное решение ведения лечения пациента, а также адекватно контролировать эффективность проводимых лечебных мероприятий. В том числе, позволяет определять адаптацию к физическим нагрузкам.

Отличительными особенностями описанных датчиков на ПАВ являются их невосприимчивость к электромагнитным помехам, отсутствие возможности клонирования, подделки, широкий температурный режим работы, невозможность обнаружения иными средствами, помимо средств, входящих в состав системы мониторинга с одновременной радиочастотной идентификацией. Дальность считывания пассивных акустоэлектронных датчиков, работающих в режиме линий задержки, может достигать десятков метров.

Вместе с тем, использование датчиков 2-го типа ограничивается радиусом действия в несколько метров. Для решения этой проблемы, в первом приближении, очевиден выбор оптимальных вариантов компонент системы мониторинга: антенн приемопередатчика и датчика на ПАВ с учетом ограничений на выходную мощность передатчика, пространственные ориентации датчика 2-го типа и ограничений на массогабаритные размеры антенн. При этом принципиальным ограничением увеличения дальности считывания являются существующие конструктивно-технологические решения построения ПАВ радиокomпонентов (РК) радиочастотной идентификации (РЧИ), широко используемые в настоящее время, где кодовая последовательность формируется за счет отражения ПАВ от статических

неоднородностей, формируемых в процессе их изготовления. Такие РК РЧИ имеют вносимое затухание ПАВ 40 и более дБ.

Нами найдено не имеющее аналогов конструктивно-технологическое решение [9] РК РЧИ с невзаимными СВЧ устройствами, в которых кодовая последовательность формируется только за счет приема ПАВ (преобразования по мере распространения в линии задержки поверхностных акустических волн в электромагнитный сигнал вследствие пьзоэффекта).

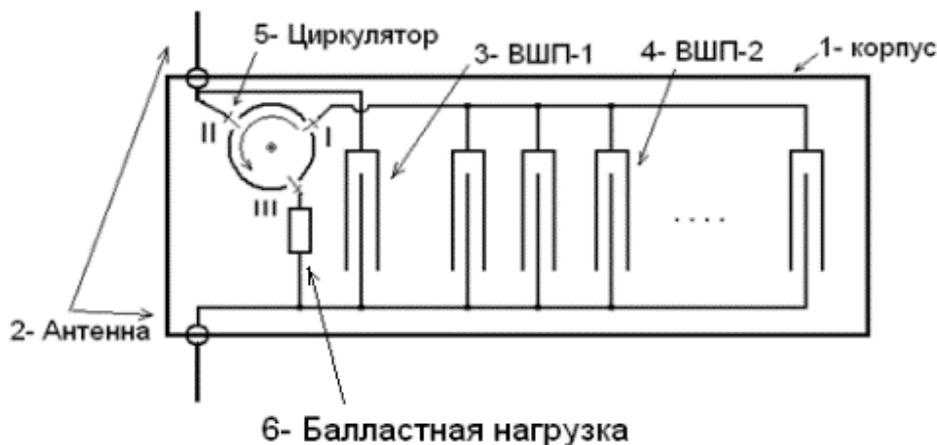


Рис.4. Базовая конструкция датчика на ПАВ генераторного типа с Y-циркулятором.

На рис.4 в состав датчика на ПАВ включено невзаимное устройство в виде Y-циркулятора, исключающее возможность передачи в антенну многократно регенерируемых импульсных откликов от парциальных ВШП-2. Использование линии задержки на ПАВ позволяет исключить интерференцию отраженных электромагнитных сигналов и организовать последовательную бесколлизийную процедуру опроса. Эти свойства открывают возможность проведения теоретических и экспериментальных исследований рассматриваемой проблемы и практической реализации бесколлизийных методов радиочастотной идентификации. Так, проведены исследования и разработаны технологические основы получения наноконструкций на основе решетчатых упаковок микросфер кремнезема для создания невзаимных устройств в составе РК РЧИ на ПАВ нового поколения [10].

2. Технология построения радиочастотных компонентов (РК) для пассивных интеллектуальных кардио датчиков на ПАВ

Создание систем мониторинга нового поколения в процессе диагностики и лечения сердечно-сосудистой системы пациента и решение задач модернизации существующих систем автоматической идентификации невозможно без развития технологии монтажа кристаллов РК пассивных интеллектуальных кардио-датчиков и РЧИ-меток на ПАВ. Разработанная нами технология монтажа кристаллов ПАВ-РК в керамике LTCC позволила создать базовые конструкции микроминиатюрных модулей пассивных интеллектуальных кардио датчиков, расширяющих функциональные возможности систем идентификации и мониторинга, снизить их массогабаритные показатели и решить проблему импортозамещения ПАВ-устройств. Особенность новой технологии LTCC в том, что в LTCC-корпусе формируется и согласующая индуктивность, которая компенсирует статическую ёмкость приёмопередающего встречно-штыревого преобразователя датчиков. При этом обеспечиваются все преимущества LTCC-технологии для устройств на ПАВ, включая уменьшение вносимых потерь и электростатическую защиту РК на ПАВ. Корпус модуля состоит из шести слоёв керамики и имеет толщину $\sim 0,2$ мм в обожжённом виде. Согласующая индуктивность выполняется в виде меандра в многослойной плате корпуса LTCC. Формирование слоёв LTCC- корпуса и заполнение отверстий, а также печать в автоматическом режиме проводились с помощью графического редактора (Рис.5).

По известным причинам, связанным с патентованием ряда конкретных конструкций и способов их реализации модуля датчика, в конструкции, представленной на Рис.2, в настоящей статье мы ограничились только топологией ПАВ радиокомпонентов (Рис.6) и их монтажа в корпусе LTCC (Рис.5). Работы в этом направлении продолжаются.

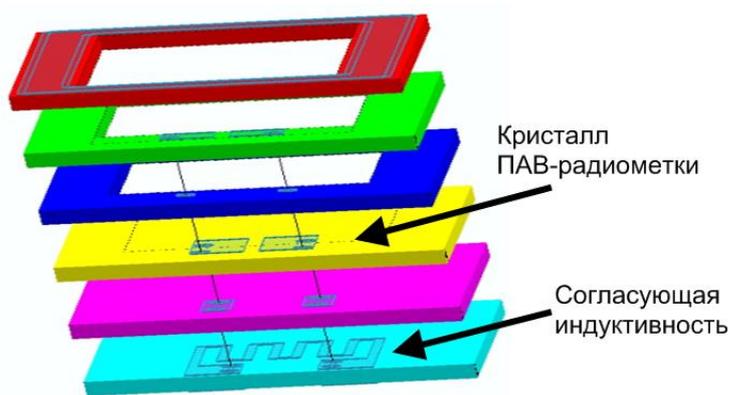


Рис. 5 Формирование слоев LTCC-корпуса, в том числе согласующей индуктивности, и заполнение отверстий в многослойной плате корпуса LTCC РК на ПАВ.

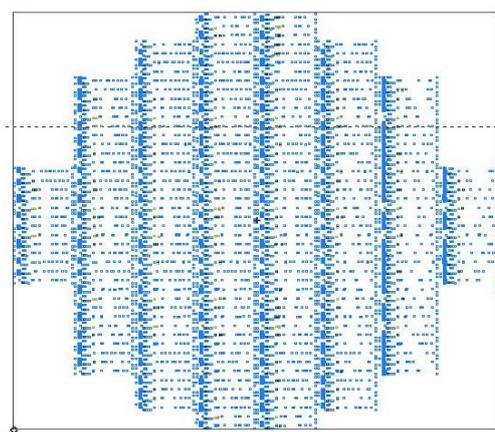


Рис. 6 Топология разработанной интегральной схемы РК с одновременной радиочастотной идентификацией

Таким образом, разработаны как принципы проектирования, методика расчёта характеристик кристаллов РК и меток различной разрядности на основе Р-матричного метода, так и базовые технологии изготовления ПАВ кристаллов, включая автоматизированное топологическое проектирование (Рис.6), и их монтажа в керамике LTCC.

3. Оценка рисков состояния здоровья: системный анализ существующих информационных технологий поддержки принятия решений при проведении лечебно-диагностических мероприятий в процессе диагностики и лечения больных АГ

Метод анализа иерархий (МАИ) — математический и креативный инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия оценок и решений. Метод широко используется на практике и активно развивается. В его основе наряду с математикой заложены и психологические аспекты. МАИ позволяет понятным и рациональным образом структурировать сложную проблему принятия решений в виде иерархии, сравнить и выполнить количественную оценку альтернативных вариантов решения. Метод используется для принятия решений в разнообразных ситуациях: от управления на межгосударственном уровне до решения отраслевых и частных проблем в бизнесе, промышленности, здравоохранении и образовании. Анализ

проблемы принятия решений в МАИ начинается с построения иерархической структуры, которая включает цель, критерии, альтернативы и другие рассматриваемые факторы, влияющие на выбор. Каждый элемент иерархии может представлять различные аспекты решаемой задачи, причем во внимание могут быть приняты как материальные, так и нематериальные факторы, измеряемые количественные параметры и качественные характеристики, объективные данные и субъективные экспертные оценки. Иными словами, анализ ситуации выбора решения в МАИ напоминает процедуры и методы аргументации, которые используются на интуитивном уровне, в том числе при нечетких выводах для идентификации состояния больных. В частности, при формировании ситуационной модели нечеткого вывода.

Создание нечеткой модели. Нечеткая модель может быть сформулирована либо на основе знаний эксперта, либо на основе наблюдаемых данных, либо на совместном использовании знаний и данных. Нечеткая система, построенная на основе нечеткой модели, выступает в качестве универсального аппроксиматора. Создание нечеткой модели включает следующие основные этапы: подбор структуры модели, оценивание параметров, выбор критерия качества аппроксимации и метода оптимизации выбранного критерия.

Биосигналы, регистрируемые датчиками на ПАВ [2,3,7,9], передаются по каналам связи в центры обработки информации.

Ситуация st_i на потоке состояний больного описывается множеством лингвистических переменных [12]

$$st_i = \langle \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{nm} \rangle, \quad (1)$$

где $\beta_i (i = 1, 2, \dots, m)$ - лингвистическая переменная. Лингвистическая переменная характеризуется набором:

$$\langle \beta, T(\beta), X \rangle, \quad (2)$$

где β - имя лингвистической переменной; $T(\beta)$ - терм-множество

лингвистической переменной β , которое является нечетким множеством вида:

$$\langle \mu_{st_i}(y) / y \rangle, \quad (3)$$

здесь y - терм; $\mu_{st_i}(y)$ - функция принадлежности; X - область определения лингвистической переменной.

Набор переменных $\langle \beta, T(\beta), X \rangle$, описывающих признаки стадий заболеваний и нечетких ситуаций [12,13], описывающих стадии, осуществляется в результате экспертного опроса. После экспертного опроса осуществляется преобразование заданных экспертом значений признаков, характеризующих стадии заболевания, в нечеткие эталонные ситуации, которые затем сохраняются в базе знаний и данных. При оценке состояния больного осуществляется преобразование значений признаков, характеризующих состояние больного, в нечеткую входную ситуацию.

В качестве функции принадлежности термов признаков используются треугольные, трапецеидальные и «гауссовы» функции. Построение функции принадлежности осуществляются на основе статистических данных значений признаков стадий заболеваний, полученные при диагностировании больных данным заболеванием. При этом статистических данных требуется значительно меньше, чем при вероятностно-статистическом подходе.

После построения функций принадлежности всех термов признака производится проверка выполнения условий правильности их задания. После этого функции принадлежности сохраняются в базе знаний и данных.

Процедура вывода для определения состояния пациента заключается в сопоставлении описания текущего состояния больного со всеми эталонными ситуациями, выборе наиболее близкой эталонной ситуации и выдаче диагноза.

Для создания базы знаний – таблицы состояний больного типа «ситуация – действие» необходимо определить соответствие между всеми возможными эталонными ситуациями, для которых определены состояния и набором диагнозов.

В таблице решений st_i – эталонная ситуация, U_i – конкретный диагноз. Размер таблицы решений определяется числом эталонных ситуаций.

Для определения состояния больного необходимо сравнить входную нечеткую ситуацию st_0 с каждой ситуацией из набора эталонных нечетких ситуаций:

$$st = \{st_1, st_2, \dots, st_n\}. \tag{4}$$

Таблица 1. Таблица решений

st_1	U_1
st_2	U_2
...	...
st_n	U_n

В качестве меры для определения степени близости входной нечеткой ситуации st_0 , возникшей на потоке состояний, и st_i из набора эталонных нечетких ситуаций st могут использоваться: степень нечеткого включения входной нечеткой ситуации st_0 в нечеткую ситуацию st_i ; степень нечеткого равенства st_0 и st_i ; степень нечеткой общности st_0 и st_i , а также другие меры близости. Выбор меры близости определяется особенностями заболевания и организацией блока принятия решения.

В качестве меры близости используем степень включения, потому что она обладает наибольшей степенью достоверности при определении принадлежности входной нечеткой ситуации к эталонной ситуации.

Пусть $st_i \{ \langle \mu_{st_i}(y) \rangle / y \}, st_j \{ \langle \mu_{st_j}(y) \rangle / y \}$ ($y \in Y$) есть некоторые ситуации.

Степень включения ситуации st_i – в ситуацию st_j определяется выражением:

$$v(\mu_{st_i}(y_l), \mu_{st_j}(y_l)) = \&_{y_l \in Y} C(\mu_{\mu_{st_i}(y_l)}(T_i^l), \mu_{\mu_{st_j}(y_l)}(T_j^l)),$$

$$C(\mu_{\mu_{st_i}(y_l)}(T_i^l), \mu_{\mu_{st_j}(y_l)}(T_j^l)) = \begin{cases} \mu_{\mu_{st_i}(y_l)}(T_i^l) \leftrightarrow \mu_{\mu_{st_j}(y_l)}(T_j^l), \\ \text{если } \mu_{\mu_{st_i}(y_l)}(T_i^l) \notin (1-t, t) \text{ и } \mu_{\mu_{st_j}(y_l)}(T_j^l) \notin (1-t, t), \\ 1, \text{если } \mu_{\mu_{st_i}(y_l)}(T_i^l) \in (1-t, t) \text{ и } \mu_{\mu_{st_j}(y_l)}(T_j^l) \in (1-t, t), \end{cases} \tag{5}$$

где $y_l (l = 1, 2, \dots, p)$ - признаки, описывающие течение болезни; $T_j^l (j = 1, 2, \dots, m_l)$ - терм-множества значений признаков; $\&$ - операция конъюнкции; \leftrightarrow - операция

эквивалентности; t – порог нечеткого равенства, значение которого задается экспертом и должно быть не менее 0,6.

Ситуация st_0 – нечетко включается в ситуацию st_i , $st_0 \in st_i$, если степень включения st_0 в st_i не меньше порога включения t , т.е. $v(st_0, st_i) \geq t$. Таким образом, ситуация st_0 нечетко включается в ситуацию st_i , если нечеткие значения признаков ситуации st_0 нечетко включаются в нечеткие значения соответствующих признаков ситуации st_i .

Для оптимизации поиска ситуации st_i , наиболее близкой к входной ситуации st_0 на множестве st строится иерархия эталонных ситуаций в форме диаграммы Хассе [2]. Поиск наиболее сходной эталонной ситуации начинается с верхнего уровня иерархии. Далее рассматриваются ситуации нижних уровней иерархии и т.д. Поиск заканчивается, если: а) на некотором уровне иерархии в ситуацию st_i не включается ни одна ситуация множества st ; б) для любой ситуации st_j , включающейся в ситуацию st_i , выполняется условие $st_0 \notin st_j$.

В случае, если нет полного включения входной ситуации ни на одну из эталонных, то либо ситуация плохо определена, либо нет эталонной ситуации, соответствующей входной ситуации по всем признакам. В таком случае происходит доопределение ситуации или сравнение производится только по хорошо определенным признакам. У каждой эталонной ситуации в таблице решений существует свое решение об идентификации стадии заболевания. Поиск такого решения заключается в принятии решения, соответствующего эталонной ситуации наиболее близкой к входной ситуации.

Следующим этапом анализа является определение приоритетов, представляющих относительную важность или предпочтительность элементов построенной иерархической структуры, с помощью процедуры парных сравнений. Безразмерные приоритеты позволяют обоснованно сравнивать разнородные факторы, что является отличительной особенностью МАИ. На заключительном этапе анализа выполняется синтез (линейная свертка) приоритетов на иерархии, в результате которой вычисляются приоритеты

альтернативных решений относительно главной цели. Лучшей считается альтернатива с максимальным значением приоритета.

Метод анализа иерархий содержит процедуру синтеза приоритетов, вычисляемых на основе субъективных суждений экспертов. Число суждений может измеряться десятками. Математические вычисления для задач такой размерности удобно использовать программное обеспечение (ПО) для ввода и обработки суждений.

Самый простой способ компьютерной поддержки — электронные таблицы, развитое ПО предусматривает применение специальных устройств для ввода суждений участниками процесса коллективного выбора.

Порядок применения МАИ:

1. Построение качественной модели проблемы в виде иерархии, включающей цель, альтернативные варианты достижения цели и критерии для оценки качества альтернатив.

2. Определение приоритетов всех элементов иерархии с использованием метода парных сравнений.

3. Синтез глобальных приоритетов альтернатив путём линейной свертки приоритетов элементов на иерархии.

4. Проверка суждений на согласованность.

5. Принятие решения на основе полученных результатов.

Таким образом, методика анализа иерархий может позволить в креативной кардиологии оптимизировать структуры, объединяющие экспертную оценку лечебных препаратов антифибрилляции, нечеткие модели прогнозирования фибрилляций, ситуационные модели нечеткого вывода фибрилляций, информационную поддержку комплекса лечебных препаратов и идентификацию нечетких моделей оценки состояния больных с пароксизмальной формой фибрилляции предсердий.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 18-29-02076 мк). Авторы выражают благодарность Ю.В.Гуляеву за интерес к работе и ценные замечания.

Литература

1. Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Кащенко А.Г., Николаева С.О., Семенов Р.В. Системный подход к построению системы автоматической радиочастотной идентификации управления транспортировкой грузов на железнодорожном транспорте. Радиотехника. 2013. №12. С.018-025. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21079526>
2. Багдасарян А., Багдасарян С., Днепровский В., Карапетьян Г., Николаева С. Малогабаритные радиочастотные идентификационные метки на ПАВ: Расширение функциональных возможностей. Электроника: Наука, технология, бизнес. 2014. №3 (134). С.70-76. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21483997>
3. Карапетьян Г.Я., Днепровский В.Г., Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Николаев А.П., Кайдашев Е.М. Пассивный беспроводной датчик на поверхностных акустических волнах для измерения параметров газовых и жидких сред. Инженерный вестник Дона. 2012. №2 (20). С.186-190. <https://elibrary.ru/item.asp?id=17944421>
4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОМОНИТОРИНГА В ОБЩЕЙ ВРАЧЕБНОЙ ПРАКТИКЕ. Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2018. Т. 18. № 3. С. 521-525. https://elibrary.ru/download/elibrary_36964630_17870004.pdf
5. Багдасарян А.С., Гуляев Ю.В., Каляев И.А., Багдасарян С.А., Коробкин В.В. Интеллектуальные устройства на ПАВ для атомной энергетики: новые разработки и достижения / В сборнике: Альтернативная и интеллектуальная энергетика Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 60-62. <https://elibrary.ru/item.asp?id=36844023>
6. Белянин А.Ф., Багдасарян А.С. МАГНИТНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОПАЛОВЫХ МАТРИЦ Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2018. Т.18.№ 1.С.70-73 https://elibrary.ru/download/elibrary_36683278_20620705.pdf

7. Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Бутенко В.В., Карапетьян Г.Я. Датчик давления на поверхностных акустических волнах Патент на полезную модель RUS 180995 БИ 2018г. http://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
8. Гуляев Ю.В., Багдасарян А.С., Кащенко Г.А., Багдасарян С.А., Семенов Р.В. Информация и безопасность. 2007. Т.10. №3. С. 395-402 <https://elibrary.ru/item.asp?id=12855324>
9. Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Бутенко В.В., Николаев В.И., Николаева С.О. Радиометка для систем идентификации на основе поверхностных акустических волн Патент на изобретение RUS 2579522, БИ №10, 2016г. http://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
10. Багдасарян С.А. РАДИОЧАСТОТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ С НЕВЗАИМНЫМИ СВЧ УСТРОЙСТВАМИ. Материалы Международной научно-технической конференции, 19 – 23 ноября 2018 г. INTERMATIC – 2018, часть 3. С. 526-530. <https://elibrary.ru/item.asp?id=36964631>
11. Белянин А.Ф., Самойлович М.И., Багдасарян А.С., Багдасарян С.А. Получение материалов с управляемыми магнитными и электрическими характеристиками как 3D-решеток нанокластеров мультиферроиков (титанатов и манганитов переходных элементов) на основе опаловых матриц // Прикладная физика и математика. 2018. № 1. С. 22-39. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32614055>
12. Rotshtein A.P. Design and Tuning of Fuzzy Rule – Based Systems for Medical Diagnosis / In N. – H. Teodorescu (ed.): Fuzzy and Neuro – Fuzzy Systems in Medicin. – CRC Press. – 2001. – P. 243–289.
13. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990.

Для цитирования:

А.С.Багдасарян, С.А.Багдасарян, В.И.Николаев, О.В.Кащенко, С.О.Николаева, Е.Р.Павлюкова. Беспроводной мониторинг биологических сигналов сердечно-сосудистой системы человека. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2019. № 6. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jun19/13/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2019.6.13