

УДК 615.47:616-7:681.31

В. Г. ГУСЕВ, О. А. ДУДОВ, Т. В. МИРИНА, О. В. ПАВЛОВА

### МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Рассмотрена многорежимная ИИС нового типа, особенностью которой является последовательное измерение электрических параметров биоорганизма в локальной зоне в разных электрических режимах. Информационно-измерительная система; биологический организм; электрические режимы; диагностика состояния

Диагностика состояния биологического организма есть чрезвычайно сложный технологический процесс. Он включает в себя многочисленные исследования физических показателей и параметров, характерных для разных клеток, органов и систем, анализ химических и биохимических свойств взятых из организма проб и выделений, являющихся продуктами жизнедеятельности, осмысливание полученных данных и формулирование итогового заключения, которое на языке медицины называется окончательным диагнозом. Результаты диагноза во многом носят эвристический характер и зависят от квалификации и аналитических способностей врачей, участвующих в этом процессе.

По мере развития техники объем информации о физических и химических свойствах организма непрерывно увеличивается. Соответственно повышается сложность и стоимость медицинского оборудования. Так, например, не самый дорогой компьютерный томограф, в котором использован ядерный магнитный резонанс, продается по цене порядка 1 млн долларов, а протонные эмиссионные томографы оцениваются несколькими миллионами долларов. Рынок медицинской электроники на сегодняшний день является одним из наиболее обширных и дорогих. Эффективное использование ее возможно только в случаях, когда медицинский персонал хорошо понимает сущность физических процессов, оцениваемых с помощью технических средств, и их связи с физиологическими состояниями организмов. Причем, как правило, объективная надежная информация может быть получена на тех стадиях, когда эффективно вмешаться в патологический процесс уже мало вероятно и кардинально изменить состояние доста-

точно тяжело. Поэтому для решения задач медицинской диагностики крайне важны разработки методов раннего или сверхраннего обнаружения появившихся отклонений от нормы. Причем чем раньше это будет сделано, тем больше вероятность получения положительных результатов.

Для решения этой задачи привлекательными выглядят электрические методы оценки свойств локальных зон кожного покрова. Изменения на «электрическом уровне» появляются значительно раньше, чем их удается установить на «химическом уровне». Это известное положение, которое серьезными исследователями не ставится под сомнение. Хорошие динамические свойства электрических характеристик кожного покрова известны достаточно давно и широко используются при оценке психофизиологического состояния (кожно-гальванический рефлекс), в диагностике при рефлексотерапии и пр. Таким образом, электрические свойства локальной зоны зависят как от состояния связанных с ней органов, так и от психической реакции организма на внешнее воздействие. Разделить причины изменения электрических свойств локальных зон пока не представляется возможным. Поэтому при их оценке с целью проведения диагностики биологического организма необходимо исключить любое предварительное воздействие на психику диагностируемого. Только в этом случае возможно получение результатов, имеющих значение для решения поставленной задачи.

Использование простейших измерительных операций пока не дало удовлетворительных результатов при медицинской диагностике. При этом получали информацию об электрических потенциалах или электрических

сопротивлениях или проводимостях. При методике Фолля оценку состояния проводят не только по значению электрической проводимости, но и по ее изменениям за определенный временной интервал. Несмотря на ее популярность среди большой группы практикующих врачей в разных странах, все эти методики официально не признаны всемирной организацией здравоохранения, что есть результат неоднозначности и плохой воспроизводимости получаемых при измерениях результатов. Поэтому диагностика, проводимая по результатам простейших измерительных электрических операций, на сегодняшний день больше искусство, чем научно обоснованный и доказанный факт.

Для повышения достоверности информации и увеличения ее объема нами предложено последовательно проводить совокупность измерительных операций по определению электрических свойств локальных зон на кожном покрове. Причем с целью уменьшения изменений параметров объекта за весь измерительный цикл было решено брать длительности каждой из измерительных операций небольшими.

Разработана информационно-измерительная система, в состав которой входит многофункциональный блок со встроенным интерфейсом и ПЭВМ. Многофункциональный блок обеспечивает получение измерительной информации, снимаемой с объекта измерений с помощью контактных электродов, в режиме холостого хода объекта, в режиме его короткого замыкания, в режиме воздействия электрической мощностью, задаваемой аппаратно. При несложной доработке можно реализовать программно управляемый режим получения заданного значения электрической мощности. Последовательность режимов и их длительности задаются программным путем и могут быть гибко изменены.

Дискретизация информационных сигналов проводится с частотой в несколько сотен килогерц и задается программным путем. Благодаря этому в каждом из режимов в память ПЭВМ вводится информация, позволяющая получить на экране монитора переходные процессы, характеризующие изменения информационных сигналов в любом из режимов. Измерительный контактный электрод выполнен подпружиненным так, чтобы проведение измерительных операций и регистрация полученных значений осуществлялись с небольшим и постоянным механическим воздействием на объект измерения. Как оказалось, это немаловажное обстоятельство. Так,

например, испытания информационно-измерительной системы показали, что в режиме холостого хода объекта, в котором определяется разность потенциалов между электродами, при слабом касании электрода наблюдается сигнал, состоящий из двух чередующихся веретен. Одно из них состоит из высокочастотных колебаний, имеющих существенную амплитуду. Другое не содержит высокочастотной составляющей и имеет малую низкочастотную амплитуду. При нажатии на биоткань с тем усилием, которое характерно для подпружиненного электрода, амплитуда обоих веретен увеличивается, но соотношение между ними резко изменяется. На втором веретене появляется большая переменная высокочастотная составляющая, которая по величине приближается к амплитуде первого веретена. Эти явления убеждают в целесообразности использования электродов, обеспечивающих определенное механическое воздействие на биоткань в локальной зоне. Кроме того, в разных зонах имеются разные составляющие в составе измеряемой разности потенциалов.

Вторым после режима холостого хода выполняется режим короткого замыкания биоткани. При этом она рассматривается как автономный источник электрической энергии, создающий в цепи электродов электрический ток. Значение его мало и оценивается десятками—сотнями долями микроампера. В составе этого тока имеются как постоянная, так и переменная составляющие. Последняя в определенной степени частично обусловлена шумами высокочувствительной электронной части, с помощью которой обеспечивается получение режима короткого замыкания биоткани. Уменьшение шумов возможно путем совершенствования входного преобразователя ток—напряжение, входящего в состав многофункционального блока. Также улучшение соотношения сигнал—шум возможно путем многократного выполнения рассмотренных выше двух измерительных операций с последующим усреднением накопленных значений. При этом используется известный принцип уменьшения влияния шумов, которые появляются случайным образом и не синхронизированы по времени с измерительными операциями. При их суммировании в течение достаточно большого времени математическое ожидание шумов стремится к нулю, а математическое ожидание информационного сигнала приближается к значению, которое имеется в действительности. Так как большой точности при измерениях

параметров биологических объектов обычно не требуется, то для получения приемлемой достоверности показаний режимы вышеназванных измерительных операций достаточно повторить 6–10 раз, после чего в соответствии с программой обработки полученные результаты усредняются в компьютере и соотношение между сигналом и шумом резко улучшается. Благодаря этому обстоятельству имеется возможность оценить и очень малые значения электрического тока, которые имеются в режиме короткого замыкания биообъекта.

Результаты этих двух измерительных операций позволяют расчетным путем определить максимальное значение электрической мощности, которую данная зона биологического организма, рассматриваемого как автономный генератор электрической энергии, может кратковременно отдавать во внешнюю нагрузку. Вопросы оценки максимальной мощности, характерной для зоны биоорганизма, никем ранее не ставились, и соответствующие исследования отсутствуют. Но нам представляется очевидным, что максимальная мощность, которую в состоянии отдать биоткань, зависит от качеств ее функционирования. К ним мы относим и интенсивность обменных процессов и химические, и биохимические параметры, оказывающие на него влияние. Максимальная электрическая мощность конкретной зоны биоткани может рассматриваться как обобщенный параметр, характеризующий ее. Значение ее можно получить с помощью формулы

$$P_{\max} = \frac{1}{2} U_{xx} i_{kз},$$

где  $P_{\max}$  — максимальная электрическая мощность;  $U_{xx}$  — постоянная составляющая напряжения на биоткани в режиме холостого хода;  $i_{kз}$  — постоянная составляющая электрического тока в режиме замыкания биоткани накоротко.

Кроме того, результаты измерений в этих двух режимах позволяют оценить собственное сопротивление биологической ткани без приложения к ней внешней электрической энергии. Это также ранее не делалось, и сопротивление или проводимость биологического организма оценивались как напряжение или электрический ток через объект, созданные внешним источником электрической энергии, имеющим определенные и стабильные параметры и характеристики. То, что предложено, позволяет оценить внутреннее сопротивление в естественном состоянии, без

приложения внешней электрической энергии. Это чрезвычайно важно для биологического объекта, который относится к числу теплозависимых и существенно не линейных.

Внутреннее сопротивление биоткани  $R_{вн}$  рассчитывается с помощью формулы

$$R_{вн} = \frac{U_{xx}}{i_{kз}}.$$

По мере накопления знаний в системе, возможно, будет реализовано определение максимальной мощности переменных колебаний, имеющих у биоткани в режимах холостого хода и короткого замыкания, а также внутреннего сопротивления для переменной составляющей. Это может быть сделано программным путем. Для этого алгоритм обработки должен обеспечивать выделение амплитуд переменных составляющих напряжения холостого хода и тока короткого замыкания. Такая возможность в разработанной информационно-измерительной системе имеется. Для ее реализации нет необходимости вносить изменения в аппаратную часть. Если после режима короткого замыкания включить режим холостого хода, то наблюдается переходный процесс восстановления исходного состояния. В зависимости от параметров локальной зоны наблюдается мгновенный выброс постоянной составляющей и затем ее возвращение к первоначальному состоянию. Этот процесс происходит в соответствии с экспоненциальным законом. Оценивая величину выброса и длительности процесса восстановления исходного состояния, можно получить представление о динамических свойствах конкретной локальной зоны организма. Они, по всей вероятности, характеризуют качество работы внутренней системы управления электрическими параметрами данной зоны. Эти вопросы в современной медицине тоже пока не исследованы, что не позволяет объективно оценить их информационную значимость. Тем не менее зависимость регистрируемых параметров от расположения зоны на биоорганизме и его состояния позволяют считать, что они могут быть использованы при рассмотрении комплекса параметров, используемых при диагностике. Таким образом, при использовании только двух режимов, которые обеспечиваются разработанным многофункциональным блоком, удастся получить четыре параметра, которые характеризуют электрические свойства биоткани данной зоны. Медицинская информационная значимость их пока не исследована.

В третьем режиме воздействия на биоткань действуют заданным значением внешней электрической мощности ( $U_i = \text{const}$ ). В этом режиме можно определить внутреннее сопротивление биоткани при воздействии на нее определенной и хорошо воспроизводимой электрической энергией. Это впервые примененный режим, который одинаков для любых организмов, какие бы параметры у него не были. Он остается неизменным в любых случаях, даже тогда, когда под влиянием электрического тока происходит изменение свойств биологической ткани. Режим предложен в нашем коллективе, в котором также разработаны основные подходы и принципы построения измерительных генераторов заданной электрической мощности.

Основное преимущество его — это определенность с мощностным и энергетическим режимами и их хорошая воспроизводимость для объектов с любыми параметрами. Сопротивление биоткани при таком мощностном воздействии может оставаться постоянным, увеличиваться или уменьшаться в течение ограниченных временных промежутков, при которых проводились исследования. Это свидетельствует о том, что параметры объекта в конкретной зоне не зависят от вносимой внешней энергии (в случае постоянства показаний), или биоткань пытается уменьшить рассеиваемую в ней энергию (в случае уменьшения сопротивления), или что ей не хватает энергии (в случае увеличения электрического сопротивления). Эти утверждения сделаны на основе гипотезы о целевой обусловленности реакции биоткани на внешнее энергетическое воздействие. На изменения сопротивления в этом режиме можно распространить те взгляды и подходы, которые известны и используются в методике Фолля. Только неизменность и определенность с уровнем внешнего энергетического воздействия обещает лучшую достоверность получаемых результатов, их большую объективность и создает предпосылки для четких количественных оценок явлений, характеризующих электрические свойства локальной зоны биоорганизма.

После энергетического воздействия на биоткань всегда целесообразно использовать режим ее короткого замыкания. При этом за кратчайший промежуток времени устраняются последствия внешнего энергетического воздействия, а параметры переходного процесса изменения электрического тока характеризуют электрический заряд, накопленный в биоткани при воздействии постоянной

электрической мощностью, а также электрические свойства биоткани в данной зоне.

Исследования показали, что ток короткого замыкания биоткани имеет вид: электрических импульсов со ступенчатым фронтом и экспоненциальным срезом с разными постоянными времени, характеризующими экспоненту; электрических импульсов со ступенчатым фронтом и срезом, отличным от экспоненциального; электрических импульсов со ступенчатым фронтом и срезом, отличным от экспоненциального, имеющих немонотонные характеристики. Немонотонности возникают при приближении кривой к установившемуся значению. Информационные значимости каждого из вида кривых еще предстоит установить. На сегодняшний день можно высказать следующую гипотезу. Если биоткани не хватает электрической энергии или она индифферентна к ней, то при воздействии электрической мощностью она поглощается достаточно интенсивно или не накапливается в ней. Поэтому при коротком замыкании биоткани во внешнюю цепь отдается минимум электрической энергии. Она или не была накоплена, или быстро была поглощена. При срезе, отличном от экспоненциального или имеющем участки с немонотонной характеристикой, усредненное значение импульса электрического тока оказывается существенно больше. Это есть результат того, что в этой зоне накопилась большая электрическая энергия и она, возможно, оказалась избыточной. Поэтому при коротком замыкании она отдается назад во внешнюю цепь. Высказывая это, мы предполагаем, что живой организм осмысленно реагирует на внешнее воздействие любой формы, в рамках тех возможностей, которыми он располагает. Из вышеизложенного следует, что большое усредненное значение тока в режиме короткого замыкания свидетельствует о том, что электрическая энергия в данной зоне не нужна, т. е. зона находится в энергетическом избытке. Справедливость этого мнения может подтвердить только практика. Тем не менее что бы ни показали последующие научные исследования, информативным параметром, характеризующим состояние биоткани в данном режиме в простейшем случае, будет усредненное значение электрического тока, оцененного через 40–50 мкс после появления ступенчатого фронта импульса. В дальнейшем необходимо установить информационную значимость отдельных параметров, характеризующих форму кривой, и особенно наблюдаемых у нее немонотонностей. Они начинают хоро-

шо проявляться при многократно повторяющихся циклах воздействия электрической мощностью, напряжением или током положительной полярности и последующих коротких замыканиях биоткани.

В системе предусмотрен и пятый режим измерения при воздействии на биоткань постоянной электрической мощностью с напряжением, имеющим противоположный знак по сравнению с третьим режимом. При его использовании определяются электрическое сопротивление и его изменения под влиянием электрического тока противоположной полярности. Все, что было сказано относительно третьего режима, справедливо для пятого. Отличие заключается в том, что оцениваются электрические свойства биоткани при воздействии на нее электрической энергией с другой полярностью напряжения.

После воздействия электрической энергией с противоположной полярностью напряжения включается шестой режим короткого замыкания. Для электрического тока, наблюдаемого при шестом режиме, характерно все то, что сказано выше для четвертого режима, с той только разницей, что существенного увеличения постоянной составляющей электрического тока после многократного периодического воздействия энергией с отрицательной полярностью установлено не было. В этом отличие последствия от того, которое наблюдается после воздействия электрической энергией с положительной полярностью напряжения.

Перечисленные режимы не исчерпывают всех возможностей разработанной информационно-измерительной системы. Так, в частности, измерения в режиме заданной электрической мощности можно проводить при разных ее значениях и оценивать реакцию зон биоорганизма на разные внешние энергетические воздействия и пр.

Длительность отдельных режимов при использовании разработанной программы работы ИИС оценивается десятками—сотнями миллисекунд. Поэтому длительность цикла, включающего все измерительные операции, проводимые в автоматическом режиме, занимает менее одной секунды. Система позволяет получить большой объем измерительной информации об электрических свойствах локальной зоны биоорганизма. Причем очередность следования режимов и параметры электрического мощностного воздействия могут быть изменены программным и аппаратным путем.

Объем измерительной информации, характеризующей электрические свойства и состояние локальной зоны, достаточно большой и может быть заполнен и обработан только с помощью ПЭВМ. Часть информации, вероятно, является избыточной. Но это будет установлено позднее, после соответствующих медицинских исследований. Основная проблема, которая стоит в настоящее время, — это установление информативной значимости каждого из предложенных новых параметров или известных параметров, но определяемых в неизвестном ранее режиме. Они никак ранее не исследовались, так как не было аппаратуры, способной это сделать. А аппаратура не разрабатывалась, потому что специалисты в области медицины не задумывались об этом и не предполагали о возможностях, которые сулит нетрадиционный подход.

Выполненная разработка, в основу которой положены изложенные выше соображения, дает в руки медиков инструмент с принципиально новыми техническими возможностями. В качестве отправной точки планируется использовать подходы, использованные в методике диагностики по Фоллю. По мере накопления знаний они будут развиты, дополнены и количественно оценены.

Таким образом, в результате работы, выполненной по программе сотрудничества Министерства обороны и высшего образования, создана информационно-измерительная система с новыми потребительскими свойствами, которые могут быть гибко изменены программным путем. Как кажется сейчас, после соответствующих исследований появится возможность проводить всестороннюю раннюю диагностику. Причем ее результаты, в отличие от используемых сейчас, будут более объективными и количественно обоснованными.

При применении в качестве компьютеров портативных конструкций типа Notebook система будет компактной, дешевой и доступной для использования врачами, получившими соответствующую специализацию. При этом существенно уменьшится необходимость в использовании сложных, дорогих, громоздких и дефицитных диагностических аппаратов и устройств. Информация о построении отдельных функциональных узлов системы имеется в работах [1—3].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев В. Г. Методы и технические средства для медико-биологических исследований: Учеб. пособие. Ч. 1. Уфа: УГАТУ, 2001. 227 с.
2. Гусев В. Г. Создание информационной системы нового типа для оперативного получения информации о психофизиологическом состоянии военнослужащих и операторов ответственных установок: Техн. отчет по НИР (заключит.) / В. Г. Гусев и др. М.: ВНИТИ-центр, 2002. Инв. № 02.20.0301242. 77 с.
3. Гусев В. Г., Зеленов С. А., Мирин Н. В. и др. Принципы построения и структуры электронных измерительных генераторов заданной электрической мощности // Измерительная техника. 1999. № 4. С. 26–31.



## ОБ АВТОРАХ

**Гусев Владимир Георгиевич**, проф., зав. каф. информац.-измерит. техники. Дипл. инж.-электромеханик (УАИ, 1965). Д-р техн. наук по элементам и уст-вам выч. техники (защ. в МИЭТ, 1987). Заслуж. деят. науки РФ и РБ. Иссл. в обл. измерит. техники, преобраз. сигналов, медиц. систем.

**Дудов Олег Александрович**, ассист. той же кафедры. Дипл. магистр техники и технологии в обл. измерит. информац. технологий (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. информац.-измерит. систем, медиц. техники.

**Мирина Татьяна Владимировна**, ст. преп. той же кафедры. Дипл. инж.-электрик по информац.-измерит. технике (УГАТУ, 1991). Иссл. в обл. информац.-измерит. систем, медиц. техники.

**Павлова Ольга Владимировна**, ст. преп. каф. машин и аппаратов БГУ. Дипл. инж.-механик (Уфимск. нефтян. ин-т, 1988). Иссл. в обл. информац.-измерит. систем.