

С. М. Геращенко, А. А. Митин, С. И. Геращенко

ДЖОУЛЬМЕТРИЧЕСКИЙ ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ

Аннотация. Приводится описание декомпозиционного джоульметрического метода с воздействием разнополярными импульсами тока различной амплитуды на объект исследования и его применение для контроля состояния биологических объектов. Рассматриваются принципы построения джоульметрических информационно-измерительных систем и дается описание джоульметрического комплекса, применяемого для оценки состояния биологических тканей и жидкостей человека.

Ключевые слова: джоульметрия, джоульметрический декомпозиционный метод, специализированное программное обеспечение, измерительный комплекс.

Abstract. In article the description decompositional joulemetrical method with influence heterpolar impulses of a current of various amplitude on object of investigation and its application for the control of a condition of biological objects is resulted. Construction principles joulemetrical information-measuring systems are considered and the description joulemetrical a complex applied to an evaluation of a condition of biological tissues and liquids of the person is given.

Keywords: joulemetric, decompositional joulemetrical method, special software, measuring complex.

Одной из актуальных задач современной медицины является диагностика заболеваний на ранних стадиях и выбор оптимальной тактики лечения. Для решения этой задачи зачастую требуется оценка состояния биологических тканей и жидкостей человека.

В настоящее время существует множество методов, позволяющих оценивать состояние биологических объектов (рентгенологические, радионуклидные, ультразвуковые; компьютерная томография, ядерно-магнитно-резонансная томография и др.), но их возможности ограничены различными факторами (большие размер и стоимость применяемой аппаратуры, оказание на организм человека лучевой нагрузки, низкая чувствительность, низкая информативность и т.д.).

В связи с этим перед разработчиками медицинской аппаратуры встает задача создания новых методов контроля состояния биологических объектов, лишенных большинства вышеперечисленных недостатков.

В последние годы в медицинских исследованиях для диагностики различных заболеваний стали применяться методы, основанные на изучении электрохимических свойств физиологических жидкостей и тканей органов человека. Методика их использования основана на том, что происходящие в тканях и органах патологические процессы (воспаление, новообразования) вызывают изменение их электрохимических свойств.

Из известных электрохимических методов для решения задачи описания характеристик биологических объектов в состоянии «норма» и «патология» наиболее близкими являются импедансометрические методы. В них исследуемый объект представлен схемой замещения, элементы которой определяются на основании оценки его частотных свойств. Однако свойства тканей

проявляются в области инфранизких частот, где импедансные методы требуют существенных временных затрат, кроме того, проявляющиеся при этом фарадеевские составляющие вносят погрешность в производимые оценки. Главными достоинствами данных методов являются простота реализации метода, низкая стоимость аппаратуры, оперативность использования и безопасность для здоровья человека.

Из вышеуказанных методов наиболее приемлемым является джоульметрический декомпозиционный метод со ступенчатой формой тока [1]. С его помощью можно получить необходимое количество признаков для описания состояния биологических объектов. Но при непрерывно изменяющемся входном сигнале проводить процедуру идентификации достаточно сложно. Кроме того, достоверность результатов измерений напрямую связана с их воспроизводимостью от опыта к опыту.

Одной из причин снижения воспроизводимости результатов измерений является нестабильность процессов заряда двойных электрических слоев. После отключения внешнего источника тока они разряжаются очень медленно, так как фарадеевское сопротивление резко увеличивается с уменьшением электродного перенапряжения. Это приводит к тому, что к началу каждого последующего измерения электроды датчика приобретают различные значения потенциалов, сильно зависящие от числа и характера проведения предыдущих измерений. Этот недостаток можно в значительной мере устранить, применяя короткое замыкание электродов датчика перед каждым последующим измерением. В этом случае процесс разрядки резко ускоряется, так как двойные электрические слои электродов разряжаются уже не только через фарадеевское, но и через омическое сопротивление, которое не зависит от величины какого-либо из перенапряжений.

Следует также учитывать, что в процессе каждого измерения изменяется состояние поверхности электродов датчика. На катоде выделяется восстановленная форма деполяризатора, а на аноде – окисленная. Кроме того, на поверхности каждого электрода адсорбируются различные химические соединения. Все это сильно снижает воспроизводимую результатов измерений. Однако воспроизводимую можно значительно повысить, применяя в качестве входного воздействия два токовых импульса, следующих друг за другом, имеющих одинаковую форму, но разную полярность.

При этом все изменения, происходящие на поверхности электродов и в приэлектродном пространстве при пропускании через исследуемый объект положительного импульса тока, компенсируются изменениями, происходящими при пропускании через объект отрицательного импульса (восстановленная форма деполяризатора снова окисляется, а окисленная – восстанавливается). Однако из-за протекания необратимых электрохимических превращений отрицательный токовый импульс лишь частично компенсирует изменение состояния поверхности электродов, вызванное положительным импульсом тока. Поэтому для устранения приведенных выше недостатков предлагается использовать декомпозиционный джоульметрический метод с воздействием разнополярным током различной амплитуды на объект идентификации, который позволяет для n входных сигналов получить n выходных [2]. На рис. 1 показаны графики входных и выходных сигналов, поясняющие декомпозиционный джоульметрический метод с воздействием разнополярным током различной амплитуды на объект идентификации.

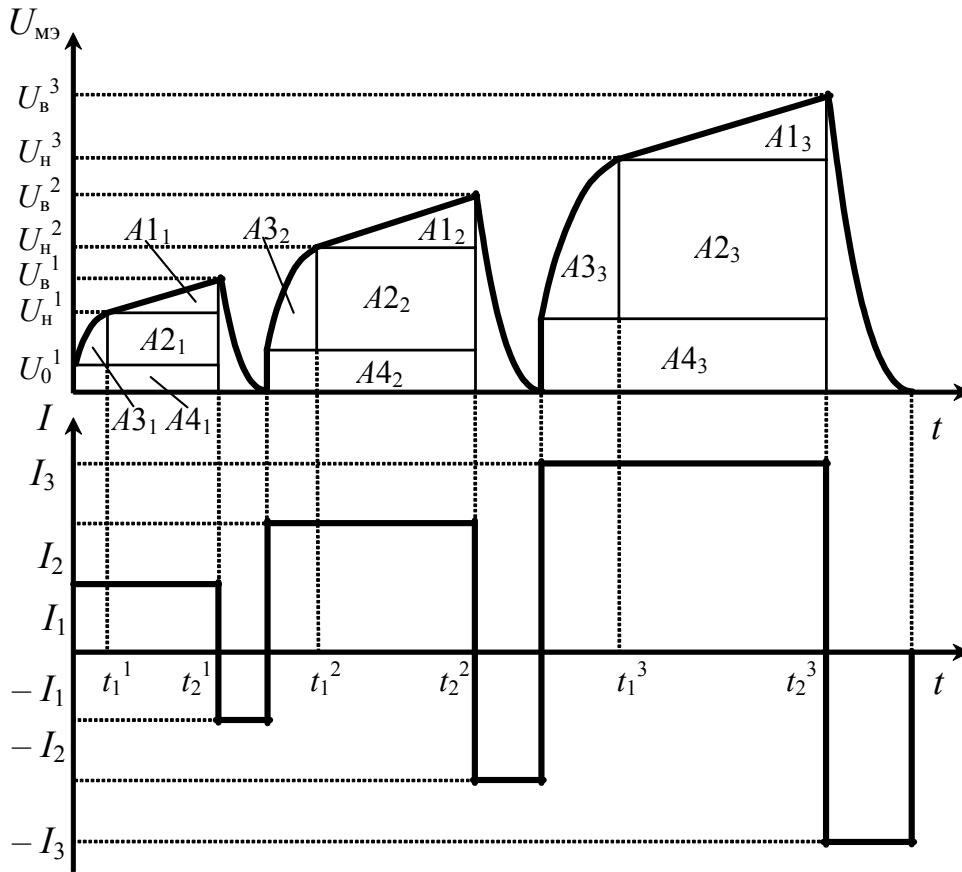


Рис. 1 Графики, поясняющие декомпозиционный джоульметрический метод с воздействием разнополярными импульсами тока различной амплитуды на объект исследования

В начальный момент времени коммутируется ток I_1 , а затем оцениваются следующие значения работ, совершаемых током:

$$A_{11} = I \left(\int_{t_1^1}^{t_2^1} U_{MЭ}(t) dt - U_H^1 (t_2^1 - t_1^1) \right) -$$

работа характеризует активность электрохимических реакций;

$$A_{21} = (U_H^1 - U_0^1) I (t_2^1 - t_1^1) -$$

работа характеризует сопротивление электрохимической реакции;

$$A_{31} = I \left(\int_0^{t_1^1} U_{MЭ}(t) dt - U_0^1 t_1^1 \right) -$$

работа характеризует емкость двойного электрического слоя;

$$A4_1 = U_0^1 I t_2^1 -$$

работа характеризует межэлектродное сопротивление.

После вступления в реакцию всех частиц, способных преодолеть потенциальный барьер, подается обратный импульс тока той же амплитуды, но значительно меньшей длительности. Тем самым достигается сокращение времени разряда. Затем амплитуда тока увеличивается до значения I_2 и т.д.

Применяя декомпозицию сигнала на различных энергетических уровнях, в джоульметрии можно формировать признаковое пространство в виде матрицы размерностью $4 \times n$:

$$A\{k, n\} = \begin{bmatrix} A1_1 & A1_2 & \dots & A1_n \\ A2_1 & A2_2 & \dots & A2_n \\ A3_1 & A3_2 & \dots & A3_n \\ A4_1 & A4_2 & \dots & A4_n \end{bmatrix},$$

где n – количество используемых ступеней.

Рассмотренный выше декомпозиционный джоульметрический метод с воздействием разнополярными импульсами тока различной амплитуды на объект исследования позволяет формировать достаточное количество информативных параметров для использования в системах распознавания образов объектов с ионной проводимостью и может быть использован на практике в различных областях науки и техники, в том числе и в медицине для контроля состояния биологических тканей и жидкостей в состоянии «норма» и «патология».

Для реализации джоульметрического метода на кафедре «Медицинские приборы и оборудование» Пензенского государственного университета разработан ряд портативных приборов [3]. Метод успешно применяется для оценки активности внутриполостных воспалительных процессов, воспалительных процессов в лобных и клиновидных пазухах, для контроля формирования костного регенерата, а также для диагностики состояния биологических объектов и реализации тканесохраняющих методик проведения операций с 1994 г. Однако в процессе проведения исследований были выявлены следующие недостатки. Разработанные приборы обладали вычислительной мощностью, зачастую недостаточной для решения ряда задач, связанных с обработкой и анализом получаемой информации. Особенности реализации приборов усложняли восприятие получаемой информации. Кроме того, возникали трудности с реализацией более сложных алгоритмов анализа и обработки информации.

В результате возникла необходимость в разработке джоульметрических информационно-измерительных систем, способных реализовывать сложные математические алгоритмы анализа и обработки поступающей информации. Для решения данной задачи разработана концепция высокоинтеллектуального джоульметрического измерительного прибора для наблюдения состояний биологических тканей и жидкостей человека, реализованного с применением модульной архитектуры и состоящего из следующих функциональных блоков: измерительного комплекса (ИК) и программного комплекса управления, анализа данных и принятия решений (ПКУ) на базе персонального компьютера (ПК) и датчиков ($D_1 \dots D_n$) (рис. 2).

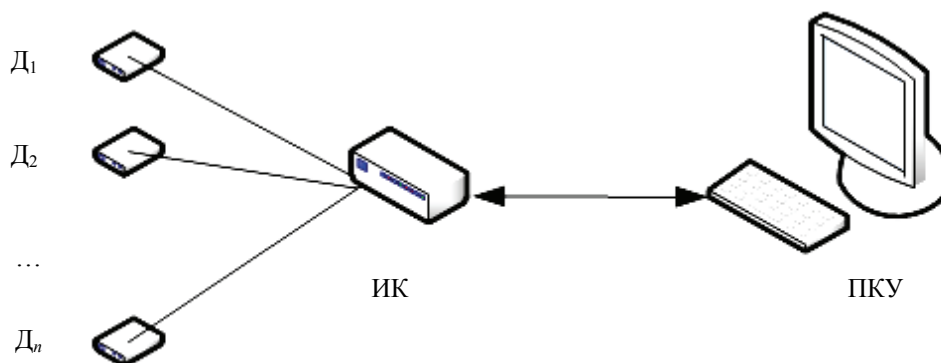


Рис. 2 Функциональная схема высокоинтеллектуального джоульметрического измерительного прибора для наблюдения состояний биологических тканей и жидкостей человека

ИК реализован на базе микроконвертора и позволяет проводить исследование биологических объектов по 128 каналам при подключении двухэлектродных датчиков или по 64 каналам при подключении четырехэлектродных датчиков. Управление работой измерительного комплекса осуществляется с помощью специального программного обеспечения, установленного на ПК. Структурная схема ИК представлена на рис. 3.

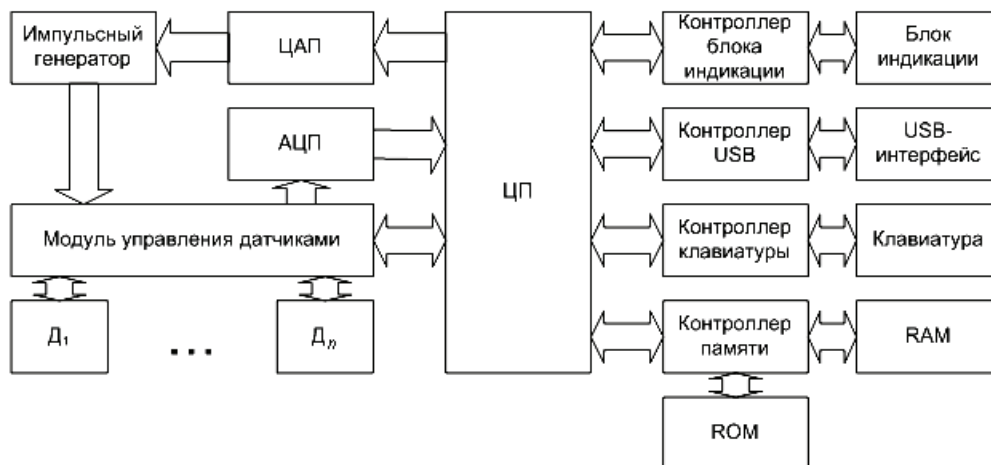


Рис. 3 Структурная схема измерительного комплекса

Управление ИК осуществляется при помощи центрального процессора (ЦП). Через USB-интерфейс измерительный комплекс соединяется с ПК, на котором функционирует специализированное программное обеспечение, осуществляющее конфигурирование, управление ИК, анализ принятых от ИК данных и принятие решений. Запуск, остановка процесса измерений и сброс состояния ИК осуществляются при помощи кнопок, размещенных на клавиатуре ИК. Блок индикации предназначен для осуществления звуковой и световой сигнализации запуска, остановки процесса измерений и обрыва шлейфа датчика. При автономной работе ИК данные, полученные в процессе измере-

ний, сохраняются в энергонезависимой памяти устройства. С центрального процессора управляющие сигналы поступают на цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), откуда через импульсный генератор токи определенной величины подаются на модуль управления датчиками. Модуль управления датчиками осуществляет передачу тока от импульсного генератора к датчику ($D_1 \dots D_n$). Информация о датчике, на который необходимо подать ток, передается модулю управления датчиками из ЦП. Значение полученного напряжения от датчика через модуль управления датчиками передается на аналого-цифровой преобразователь, далее передается на ПК или (при автономной работе измерительного комплекса) записывается в энергонезависимую память ИК.

Программный комплекс управления, анализа данных и принятия решений представляет собой специализированное программное обеспечение, функционирующее на ПК, которое определяет режимы задания входных воздействий на объект исследования, осуществляет управление измерительной системой, производит обработку полученной информации при помощи специализированных алгоритмов, визуализацию результатов обработки информации и принятие решения о состоянии биологического объекта. Функциональная структура СПО представлена на рис. 4.

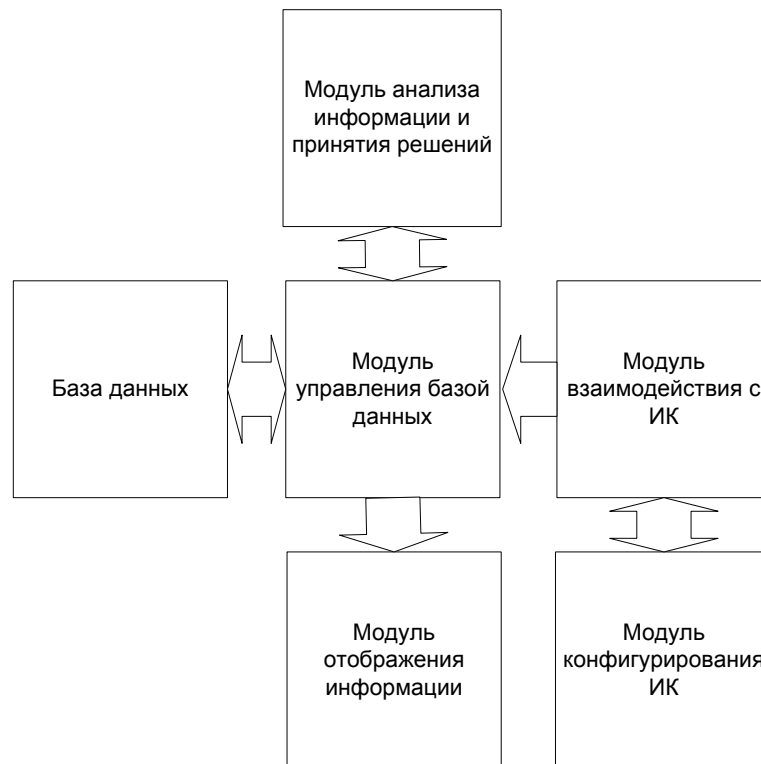


Рис. 4 Функциональная структура специализированного программного обеспечения

Применение данной архитектуры позволило возложить задачу обработки, анализа информации и принятия решений на специализированное программное обеспечение, работающее на ПК, оставив измерительному комплексу функции непосредственно проведения измерений и передачи результатов измерений на ПК. Вынесение блока анализа результатов и принятия

решений из измерительного устройства также позволило увеличить количество датчиков до 128, что позволило увеличить количество признаков для описания состояния биологических объектов. Вынесение измерительного устройства в отдельный блок также дало возможность дальнейшего наращивания количества датчиков без существенной доработки специализированного программного обеспечения.

В разработанном комплексе реализован модернизированный джоульметрический декомпозиционный метод со ступенчатым комбинированным способом задания токов различной амплитуды, что в совокупности с четырехэлектродными датчиками позволило увеличить количество уровней тока с 4 до 16 и получить до 1024 устойчивых джоульметрических признаков. Результаты проведенных экспериментов показали целесообразность применения предложенного метода задания входных воздействий. В частности для биологических жидкостей вероятность правильной классификации активности воспалительного процесса увеличилась с 83 до 95 %, вероятность правильной классификации состояния костной ткани – с 85 до 97 %, вероятность правильной классификации тканей онкологически пораженных органов – с 77 до 95 %.

Для выполнения задачи анализа данных и принятия решений также используется самоорганизующаяся нейронная сеть *LVQ (Learning Vector Quantization)* с одним конкурирующим скрытым и одним линейным слоем. Оба слоя нейронной сети *LVQ* содержат по одному конкурирующему на каждый кластер и одному линейному нейрону на каждый целевой класс. Анализ информации и постановка диагноза при помощи нейронной сети предусматривает выполнение нескольких функций: обучение нейронной сети на специальной выборке данных, полученных по результатам исследований продиагностированных пациентов с формированием классов по заболеваниям; классификация любых полученных результатов исследований – определение их принадлежности к любому из заранее заданных классов. По результатам исследований чувствительность нейронной сети составила 89 %, специфичность – 78 %.

Заключение

Разработанная система обработки данных и управления, использующая модернизированный джоульметрический метод, позволяет проводить исследования различных типов биологических объектов, что делает прибор универсальным. Возможность модернизации специализированного программного обеспечения за счет применения плагинов дает возможности дальнейшего расширения функциональности СПО, что позволит использовать разработанные джоульметрический метод и информационно-измерительную систему на практике в различных областях науки и техники, в том числе и в медицине.

Список литературы

1. **Герашенко, С. М.** Джоульметрический метод контроля объектов с ионной проводимостью / С. М. Герашенко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2008. – № 2. – С. 106–114.
2. **Герашенко, С. И.** Принципы построения джоульметрических систем / С. И. Герашенко // Новые технологии и системы обработки информации и управления : сборник науч. тр. – Вып. 1. – Пенза : ПГУ, 1998. – С. 109–116.

3. **Волчихин, В. И.** Джоульметрические медицинские приборы и системы / В. И. Волчихин, С. И. Геращенко, С. М. Геращенко. – М. : РАН, 2008. – 131 с.
-

Геращенко Сергей Михайлович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра медицинских приборов
и оборудования, Пензенский
государственный университет

E-mail: sgerash@mail.ru

Gerashchenko Sergey Mikhailovich

Candidate of engineering sciences,
associate professor, sub-department
of medical appliances and equipment,
Penza State University

Митин Александр Александрович

аспирант, Пензенский
государственный университет

E-mail: mtna@yandex.ru

Mitin Alexander Alexandrovich

Postgraduate student,
Penza State University

Геращенко Сергей Иванович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой медицинских
приборов и оборудования, Пензенский
государственный университет

E-mail: mpo@list.ru

Gerashchenko Sergey Ivanovich

Doctor of engineering sciences, professor,
head of sub-department of medical
appliances and equipment,
Penza State University

УДК 621.3.082.75

Геращенко, С. М.

Джоульметрический декомпозиционный метод контроля состояний биологических объектов и его реализация / С. М. Геращенко, А. А. Митин, С. И. Геращенко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 4 (12). – С. 93–100.