

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА РАЗДРАЖЕНИЕ КОНЕЧНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Д. А. Истомина

*Белорусский государственный университет, г. Минск
E-mail: rct.istominDA@bsu.by*

Рассмотрены функциональная схема, элементная база и методика исследования порога чувствительности конечностей человека к раздражению переменным электрическим током с последующим определением времени его реакции на воздействие. Описаны алгоритмы работы разработанного блока и созданного программного обеспечения нижнего и верхнего уровней. Результаты апробации созданных алгоритмов и аппаратуры показали возможность оперативного определения пороговой чувствительности к раздражению электрическим током примерно за полторы минуты.

Ключевые слова: функциональные показатели, болевые рецепторы, нервные проводящие пути, пороговая чувствительность, программное обеспечение.

Актуальность создания аппаратуры для периодического контроля показателей функций организма обусловлена необходимостью периодического мониторинга состояния здоровья человека, чтобы можно было выявить их нарушение на ранней стадии, когда сам человек еще не замечает их ухудшения. Для проведения такого мониторинга, кроме биохимических исследований и традиционного обследования у терапевтов и узких специалистов, необходима аппаратура для оперативной оценки функциональных показателей, в том числе состояния чувствительности сенсорных рецепторов, проводимости нервных путей и скорости реакции соответствующих зон головного мозга на раздражающие воздействия [1, 2].

Поскольку рассматриваемая диагностическая аппаратура должна быть дешевой, целесообразно разрабатывать соответствующий комплекс на основе персонального компьютера, который через USB интерфейс может управлять различными блоками этого комплекса, взаимодействуя с ними через один или несколько микропроцессоров со специализированным программным обеспечением. В его состав необходимо включать несколько модулей, каждый из которых предназначен для оценки функциональных характеристик определенных сенсорных рецепторов, например оценки пороговой чувствительности зрительной, слуховой, тактильной и других систем. Причем, некоторые из них могут работать одновременно, например датчик кожно-гальванической реакции и блок оценки пороговой чувствительности к раздражению электрическим током. Поэтому необходимо обеспечивать такие воздействия и алгоритмы управления, которые не будут создавать взаимных помех друг другу.

Раздражающее воздействие тока человек начинает ощущать при его величине более 1 мА. Поскольку кожные покровы имеют большое сопротивление, амплитуда напряжения, прикладываемого к ним, должна превышать 60 В, чтобы наступил их пробой [3]. После пробоя через подкожные ткани начинает протекать ток, величину которого для безопасности надо ограничивать. Этого добиваются за счет сокращения времени воздействия, т. е. применения импульсного тока, и большого выходного сопротивления генератора этих импульсов. Диаграмма формирования пачек двуполярных импульсов, которые формируются при обследовании, показана на рис. 1.

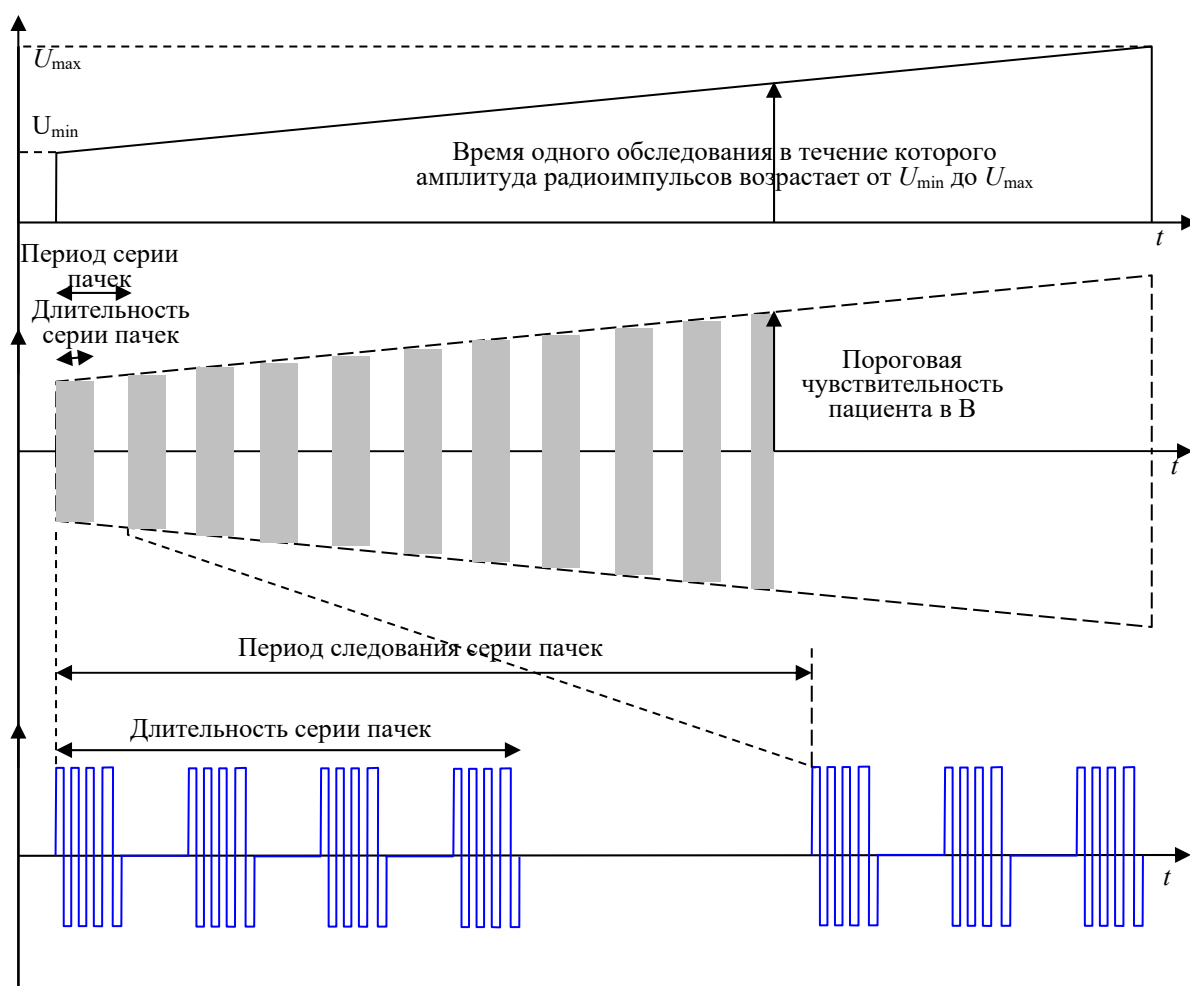


Рис. 1. Диаграмма формирования импульсов для одной серии пачек

Для минимизации создания электрических помех другим устройствам используются пачки импульсов с целым числом периодов, чтобы постоянная составляющая каждой пачки была равна нулю. Частоту следования этих импульсов в пачке следует выбирать > 30 кГц, чтобы создаваемые ими наводки хорошо подавлялась входными низкочастотными цепями усилителей биопотенциалов других блоков. Поэтому в состав разработанного блока входит микропроцессор STM32 и гальванически развязан-

ный формирователь радиоимпульсов с управляемой амплитудой от 40 до 160 В.

Формирование сигналов управления осуществляется тремя таймерами микропроцессора. Первый из них служит для задания необходимого напряжения питания формирователя радиоимпульсов. Второй формирует сигнал, разрешающий триггеру этого формирователя генерировать пачку радиоимпульсов. Третий – формирует меандр с частотой 100 кГц, который служит тактовым сигналом для триггера, который формирует пачки радиоимпульсов с частотой 50 кГц.

Для сокращения времени обследования предложено вместо пилообразно нарастающего напряжения пачек радиоимпульсов, как показано на рис.1, использовать алгоритм его скачкообразного повышения с использованием увеличенного шага ΔU . После первой двигательной реакции пациента на раздражение, т. е. после нажатия им кнопки, амплитуда снижается на ΔU и формируется уточняющая серия радиоимпульсов с малым шагом приращения амплитуды. После определения порога формируются пачки радиоимпульсов для измерения времени реакции. Временная задержка между ними задаётся по псевдослучайному закону для исключения привыкания.

Для управления созданным микропроцессорным модулем была разработана многопоточная программа на языке программирования C# с необходимым графическим интерфейсом и бинарный протокол связи между компьютером и микропроцессором по USB интерфейсу. Дополнительно для обеспечения удобства работы с комплексом была создана база данных для хранения и дальнейшего анализа результатов обследований.

Созданное программное обеспечение верхнего уровня предусматривает возможность работы оператора в процессе обследования со списком испытуемых или пациентов, который можно дополнять или изменять. После выбора испытуемого и типа обследования оператор может задать необходимые параметры обследования, запустить его, а при необходимости, принудительно завершить. Результаты проведенного обследования сохраняются в базу данных с возможностью редактирования.

Одной из главных целей компьютеризированного комплекса является отслеживание изменений функциональных показателей пациента на длительном промежутке времени. Поэтому в программе верхнего уровня обеспечена возможность удобной визуализации представления новых и проведенных ранее результатов обследований в виде таблиц и графиков. Для этих представлений предусмотрены фильтры по отдельным измеряемым характеристикам и типам измерений и возможность работать одновременно с несколькими зависимостями. Структура созданной базы данных пред-

ставлена на рис. 2. В таблице Patients хранятся сведения о пациенте, а в таблице Measures – данные о проведённых обследованиях. С помощью атрибута ID_Measure, который связывает таблицу MeasuredData с таблицей Measure, можно просматривать значения зарегистрированных при обследованиях характеристик.

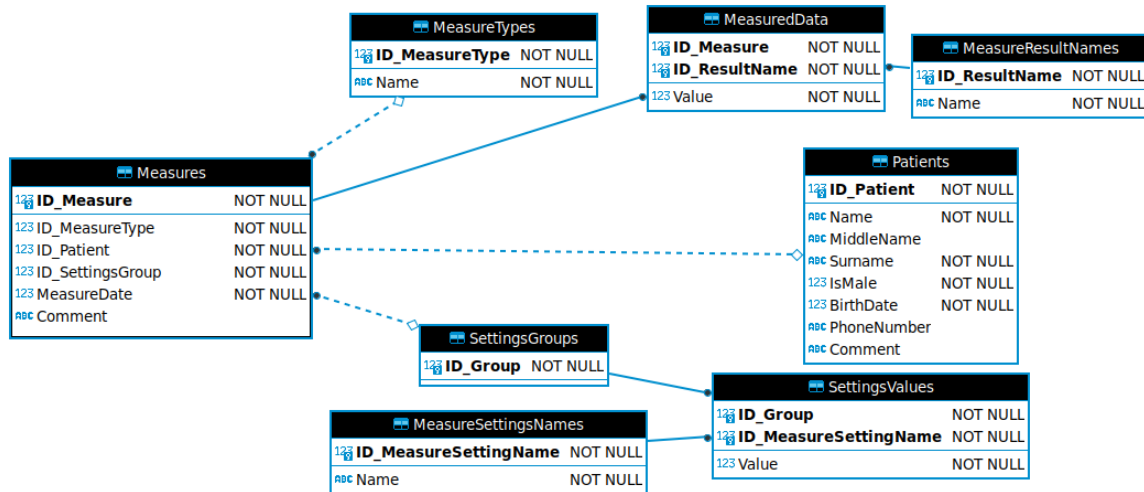


Рис. 2. Схема созданной базы данных

Таким образом, предложена методика определения порога чувствительности к раздражению кожи конечностей человека электрическим током, которая минимизирует время обследования и болевые ощущения пациента. Создан макетный образец аппаратуры с необходимым программным обеспечением. Его апробация показала, что для серии из 5 циклов измерений с допустимым временем реакции в 1 секунду можно определять пороговую чувствительность к раздражению электрическим током меньше чем за полторы минуты с оперативным усреднением результатов для повышения их достоверности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Lautenbacher S. et al. Age changes in pain perception: a systematic-review and meta-analysis of age effects on pain and tolerance thresholds // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2017. V. 75. P. 104–113.
2. Farrell M. J. Age-related changes in the structure and function of brain regions involved in pain processing // Pain Medicine. 2012. V. 13. №. 2. P. S37–S43.
3. Fish R.M. and Geddes L.A. Conduction of electrical current to and through the human body: a review // Eplasty. 2009. V. 9. P. 407-421.