

Секция
РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА, ДИАГНОСТИРОВАНИЕ

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД
ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ МЕДИЦИНСКИХ
ХЛОР-СЕРЕБРЯНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА БАЗЕ ПОРИСТОЙ КЕРАМИКИ**

*Д.К. Авдеева, О.Н. Вылегжанин, И.С. Грехов, В.Ю. Казаков
В.Л. Ким, И.А. Клубович, С.А. Рыбалка, Ю.Г. Садовников, Е.В. Якимов
г. Томск, Россия*

Приведено описание автоматизированной установки для метрологической проверки медицинских электродов, разработанной в соответствии с требованиями ГОСТ 25995–83 «Электроды для съема биоэлектрических потенциалов».

Для измерения собственных случайных шумов электродов, полученных при измерении дрейфа разности электродных потенциалов и напряжения шума электродов в диапазоне от 0,01 Гц до 10000 Гц, впервые разработана специальная информационно-измерительная технология, основанная на сравнении значений энергий и мощностей шумов электродов с шумом измерительной аппаратуры в заданных частотных диапазонах.

Приведены экспериментальные результаты измерения шумов, полученные на электродных ячейках, которые доказывают эффективность способа измерения собственных шумов электродов.

Разработанная автоматизированная установка удобна в эксплуатации, является высокопроизводительным оборудованием с новыми функциональными возможностями.

В НИИ интроскопии разработаны хлор-серебряные электроды на базе пористой керамики. Электроды предназначены для съема биопотенциалов при статических и динамических исследованиях человека, в том числе у детей.

Электроды могут применяться для снятия биопотенциалов в электрокардиографии, электроэнцефалографии, элетрогастрографии, электромиографии, электроокулографии, электрокохлеографии, в промышленных целях в качестве портативных образцовых электродов для химических лабораторий, измерения электрических полей земли, биопотенциалов растений.

Разработанные электроды имеют следующие преимущества:

- высокие метрологические характеристики;
- не требуют специальных паст для эксплуатации;
- защищенность чувствительного слоя Ag-AgCl от разрушения в процессе использования, так как с поверхностью исследуемого объекта контактирует пористая керамика, пропитанная твердым гелем, а не слой Ag-AgCl;
- низкий уровень артефактов движения по сравнению с обычными хлор-серебряными электродами;
- не требуют специальных паст для эксплуатации.

Известно, что разрешающая способность медицинской электрографической аппаратуры зависит от уровня шумов, которые формируются из суммы шумов измерительной системы и электродов.

Шумы измерительной системы снижены до десятков и сотен нановольт в зависимости от частотного диапазона благодаря снижению уровня шумов электронных компонентов.

По этой причине к электродам также предъявляются высокие требования по уровню шума.

В идеальном случае технологически необходимо добиться, чтобы суммарный шум аппаратуры был исчезающе мал и появилась возможность исследовать более низкоамплитудные составляющие биоэлектрической активности различных органов и тканей человека, которые в настоящее время воспринимаются исследователем как случайные процессы.

С целью исследования собственных шумов медицинских электродов, повышения производительности и удобства эксплуатации, разработан автоматизированный испытательный стенд для проверки медицинских электродов.

Испытательный стенд предназначен для автоматизированной проверки электродов в соответствии с ГОСТ 25995–83 [1] и позволяет измерять собственные шумы электродов:

- разность электродных потенциалов;
- дрейф разности электродных потенциалов;
- напряжение шума;
- шум движения (электромеханический шум);
- полное сопротивление электродов;
- напряжение поляризации.

Дрейф разности электродных потенциалов – это низкочастотный шум от 0,01 Гц до 1 Гц и напряжение шума – это шум выше от 1 Гц до 10000 Гц.

Внешний вид испытательного стенда представлен на рис. 1.

Стенд включает измерительную систему (1), выносной блок (2), и ПК (3).

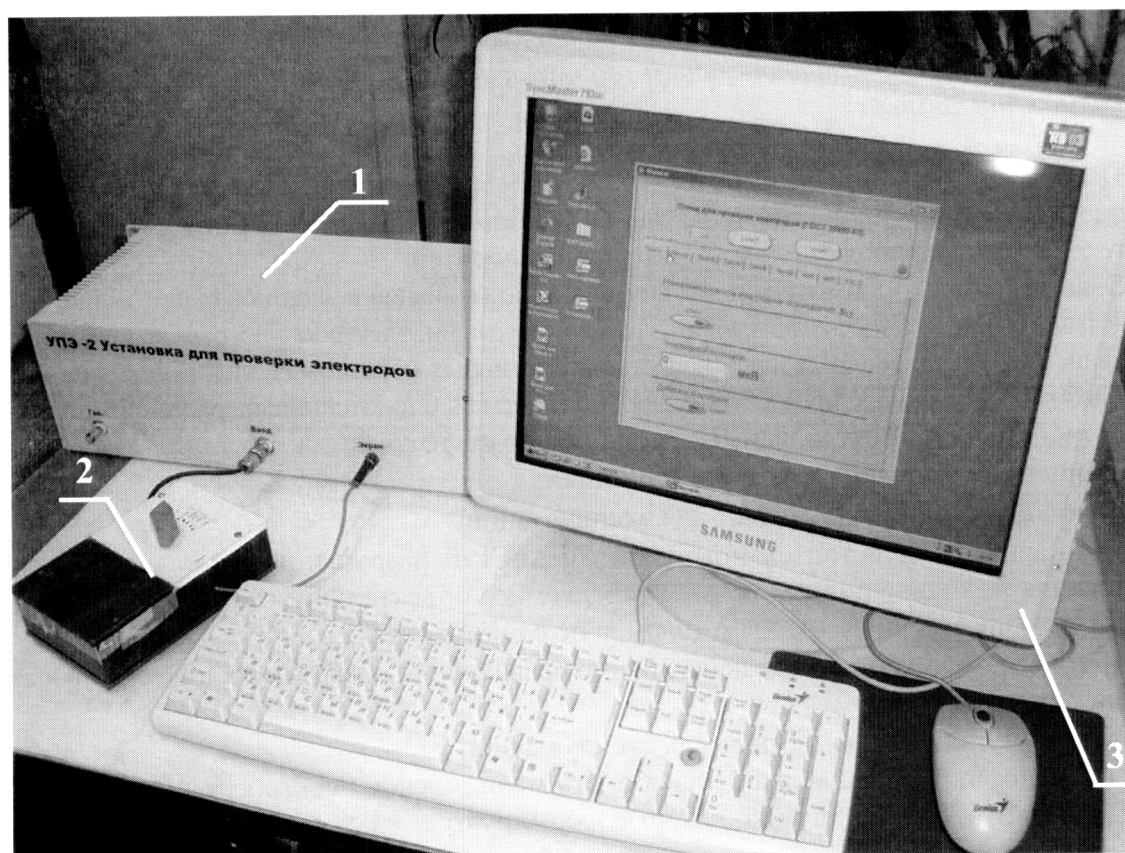


Рис. 1:
1 – измерительная система; 2 – выносной блок; 3 – ПК

В зависимости от измеряемого параметра измерительная система под управлением ПК изменяет конфигурацию измерительного канала. Выносной блок служит для подключения электродов к стенду.

Сигналы, формируемые измерительным каналом, поступают на плату сбора данных, которая выполнена на основе преобразователя напряжения L-Card E14-440D, программное обеспечение для данного блока написано в среде LabView 6.0.

Для обработки шумов электродов разработаны специальные алгоритмы и программы.

Процесс обработки данных включает несколько сложных процедур, которые состоят из комбинаций более простых, являющихся классическими для процессов цифровой обработки и фильтрации сигналов. Это процедуры:

- выделения и вычитания тренда.
 - оценки общих характеристик зарегистрированной последовательности (среднего значения, дисперсии, среднеквадратического отклонения, построения гистограмм распределения значений);
 - проверки стационарности методами серий и инверсий;
 - прямого и обратного преобразования Фурье, оценки амплитудно-частотных (АЧХ) и фазо-частотных (ФЧХ) характеристик спектров;
 - оценки автокорреляционных (АКФ) и взаимокорреляционных (ВКФ) функций;
 - оценки спектральной плотности мощности (СПМ);
 - формирования различных фильтров с заданными характеристиками полосы пропускания, крутизны фронтов, а также применения этих фильтров
- Кроме того, в состав программы включены процедуры, обеспечивающие:
- получение спектров, усредненных по ансамблю реализаций;
 - вычитание спектров или последовательностей во временной области;
 - вычисление сумм спектров, в том числе умноженных на заданный постоянный коэффициент;
 - вычисление полной энергии и мощности в различных частотных диапазонах.

Дружественный интерфейс позволяет легко ориентироваться в программе и выбирать требуемый маршрут на графе обработки.

Процедура фильтрации выполняется в заданной частотной области. При формировании фильтра характеристики фильтра (верхняя и нижняя частоты пропускания, верхняя и нижняя частоты полного подавления сигнала) задаются пользователем. Для формирования переднего и заднего фронтов фильтра используется сглаживающий полином Ньютона вида:

$$h(f) = \sum_{i=0}^3 a_i \cdot (f_{вс} - f_{в})^i \quad \text{или} \quad h(f) = \sum_{i=0}^3 a_i \cdot (f_{н} - f_{сн})^i, \quad (1)$$

где $h(f)$ значение частотной характеристики фильтра на частоте f ;

$f_{в}$ и $f_{н}$ – верхняя и нижняя частоты пропускания фильтра;

$f_{вс}$ и $f_{сн}$ – верхняя и нижняя частоты полного подавления сигнала. Коэффициенты

a_i вычисляются из условий: $h(f_{в})=1$, $h(f_{н})=1$, $h(f_{вс})=0$, $h(f_{сн})=0$, $h'(f_{в})=0$, $h'(f_{н})=0$, $h'(f_{вс})=0$, $h'(f_{сн})=0$, где $|\cdot|'$ – производная от $|\cdot|$.

Возможно формирование полосовых, заградительных, низкочастотных и высокочастотных фильтров. Сформированные фильтры могут быть сохранены в списке фильтров и в дальнейшем использованы без предварительной подготовки.

Собственно процедура фильтрации выполняется путем умножения соответствующих компонент комплексного спектра на значения частотной характеристики фильтра с последующим выполнением обратного преобразования Фурье.

Значения энергий и мощностей в различных частотных диапазонах вычисляют по формулам (2) и (3):

$$E = \sum_{i=0}^N x_i^2; \quad (2)$$

$$p(t) = \frac{1}{T} \sum_{i=-T/2}^{T/2} x_i^2. \quad (3)$$

Предварительные исследования суммарного шума электродной ячейки, состоящей из слабополяризующихся хлор – серебряных электродов на базе пористой керамики [2], и измерительной аппаратуры, шума измерительной аппаратуры, измеренного при закороченном входе, показали, что полученные обе случайные реализации неокрашены, близки к нормальному распределению, при этом суммарный шум статистически незначимо превышает уровень шума системы с короткозамкнутым входом.

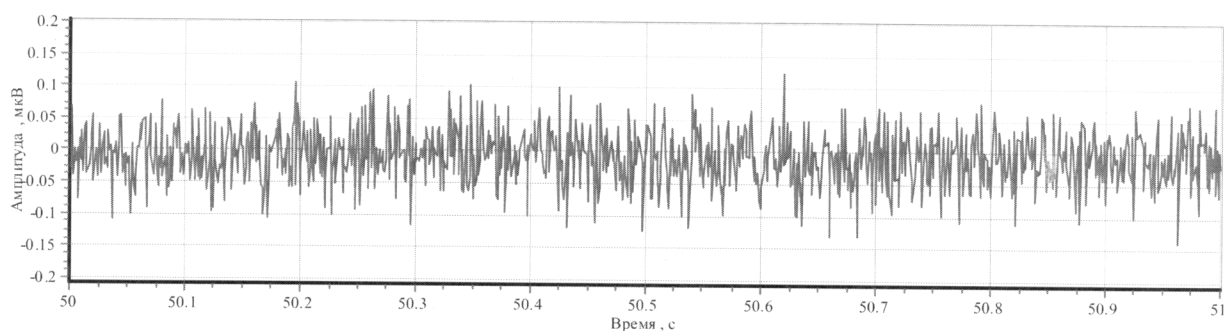
Таким образом, оценка собственных шумов электрода в виде разности статистических параметров суммарного шума с электродной ячейкой и шума измерительной аппаратуры при закороченном входе является несостоятельной.

Однако при вычислении значений энергий и мощностей шума в различных частотных диапазонах по формулам (2) и (3) получены незначительные, но устойчивые отклонения значений энергий и мощностей для реализаций шума одной электродной ячейки, так и для различных электродных ячеек, по отношению к шуму измерительной аппаратуры при закороченном входе.

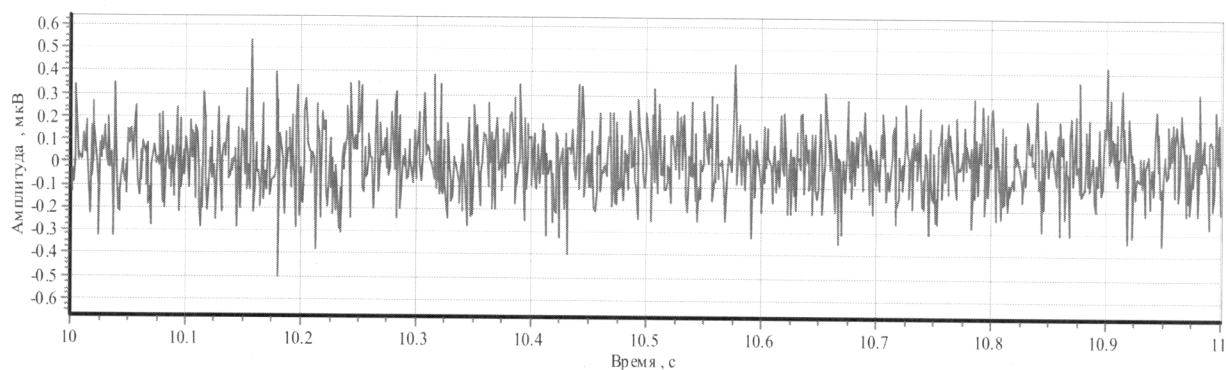
Для оценки собственных шумов электродов предложена следующая информационно – измерительная технология:

- 1) регистрация суммарных шумов измерительной аппаратуры и электродной ячейки;
- 2) регистрация шума измерительной аппаратуры при закороченном входе;
- 3) проверка законов распределения;
- 4) определение спектров с помощью метода быстрого преобразования Фурье (БПФ);
- 5) формирование частотных интервалов для суммарных шумов и шума измерительной аппаратуры с равномерным распределением по частоте;
- 6) вычисление энергий и мощностей в заданных частотных интервалах;
- 7) определение коэффициентов для шума измерительной аппаратуры, выравнивающих с заданной точностью значения энергий и мощностей суммарного шума и шума измерительной аппаратуры в заданных частотных интервалах в частотной области;
- 8) формирование с помощью найденных коэффициентов дополнительного шумового сигнала в частотной области из шума измерительной аппаратуры;
- 9) суммирование дополнительного шума с шумом измерительной аппаратуры в частотной области;
- 10) сравнение энергий и мощностей в заданных частотных интервалах измеренного суммарного шума и суммы шума измерительной аппаратуры и дополнительного шума;
- 11) при достижении заданной точности получение временной функции путем проведения обратного преобразования Фурье для дополнительного шума;
- 12) измерение отклонения от максимума до минимума полученной временной функции;
- 13) при неудовлетворительной точности измерения повторяют с другими коэффициентами.

На рис. 2, *а* представлены результаты измерения собственных шумов электродной ячейки, состоящей из двух слабополяризующихся электродов на базе пористой керамики, на рис. 2, *б* представлены измерения собственных шумов электродов ячейки, состоящей из двух одноразовых хлор – серебряных электродов итальянского производства в диапазоне частот (0,01–500) Гц.



a



б

Рис. 2: а) Шум электродной ячейки и электродов E13 на базе пористой керамики; б) Шум электродной ячейки и одноразовых электродов итальянского производства

Экспериментальные исследования убедительно доказывают эффективность способа измерения собственных шумов электродов.

Следует также отметить, что электроды на базе пористой керамики [2] имеют случайный шум, в несколько раз меньший по сравнению с электродами зарубежного производства.

Актуальной задачей в настоящее время является внесение изменений в требования на электроды для съема биоэлектрических потенциалов в связи с повышением метрологических характеристик электродов и современных электронных компонентов с целью повышения качества электрофизиологической диагностики.

Использование разработанной установки позволило впервые измерить размах собственных шумов медицинских слабополяризующихся хлор – серебряных электродов на базе пористой керамики, уровень которых значительно ниже уровня шума измерительной аппаратуры, который не выявлялся ни одним статистическим методом, провести сравнение различных электродов и технологий.

Список литературы

1. ГОСТ 25995–83. Электроды для съема биоэлектрических потенциалов. – Государственный Комитет СССР по стандартам. – 1983. – 25 с.
2. Д.К. Авдеева, В.В. Дмитриев, А.Т. Добролюбов, В.А. Нагиев, С.Я. Самохвалов, С.А. Шилов. Электрокардиографические хлорсеребряные электроды // Медицинская техника. – М., 1984. – № 1. – С. 31.