

УДК 620.178.3

АНАЛИЗ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРО- ДИАГНОСТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБОВ

А. И. Кириллов, Е. Ю. Шелковников, С. Р. Кизнерцев

Институт механики УрО РАН,
г. Ижевск

В статье рассмотрены особенности работы, достоинства и недостатки существующих электро-диагностических аппаратов «СТИЛ», «ДентЭст» и разработанного «ЭДЗ-1». Дан анализ погрешностей измерения информационного тока, протекающего через твердые ткани зуба; определены пути ее уменьшения.

Ключевые слова: электродиагностика, источник тока, источник напряжения, преобразователь ток-напряжение, внутреннее сопротивление

В настоящее время в медицинской практике используются аппараты для электрометрической диагностики твердых тканей зубов «СТИЛ» [1-3] и «ДентЭст» [4], которые представляют собой законченные электронные устройства, снабженные для подключения к зубу двумя электродами: пассивным (ПЭ) и активным (АЭ). Эти аппараты позволяют, в частности, по величине тока, протекающего через твердые ткани зуба, определить краевое прилегание пломб с целью диагностики рецидивного кариеса. Цифровой аппарат «ДентЭст» выводит данные в мкА в режиме реального времени, а наличие графической шкалы 1, 10, 100 мкА позволяет наглядно оценить величину тока [4]. Аналоговый аппарат «СТИЛ» содержит источник напряжения и тока, собранный на транзисторе [2], и микроамперметр с переключателем диапазонов: 10 и 100 мкА [2,3].

Согласно [1,4] при измерении малых токов (0-10 мкА), соизмеримых с допустимой погрешностью аппаратов «ДентЭст», «СТИЛ» имеется вероятность поставить ошибочный диагноз пациенту. Следует отметить, что размер мениска проводящего ток электролита (10% раствора хлорида кальция) на торце активного электрода влияет на сопротивление контакта активный электрод-зуб и, как следствие, на погрешность результата измерения. Поэтому актуальной является задача разработки аппарата с более высокой чувствительностью в рабочем диапазоне токов от 0 до 100 мкА, что позволит с большей досто-

верностью диагностировать состояние твердых тканей зуба.

Поскольку аппараты «ДентЭст» и «СТИЛ» осуществляют измерение тока для оценки электропроводности твердых тканей зуба, необходимо также измерять напряжение между активным и пассивным электродами. В известных источниках эта информация различается, а метод измерения не указан [1,4,5]. Кроме того, значение напряжения может изменяться в зависимости от величины тока через зуб. Чтобы пересчитать значение измеренного тока в электрическое сопротивление (или электропроводность), необходимо построить выходные вольтамперные характеристики (ВАХ) для рассматриваемых аппаратов.

Анализ работы аппаратов «ДентЭст» и «СТИЛ» показал, что напряжение U_3 между активным и пассивным электродами, а также ток I_3 через зуб описываются следующими выражениями:

$$U_3 = \frac{E_{ип} \cdot ((R_3 + R_A) \parallel R_V)}{(R_3 + R_A) \parallel R_V + R_{внутр}} \quad (1)$$

$$I_3 = \frac{E_{ип} \cdot R_V}{(R_3 + R_A) \cdot (R_V + R_{внутр}) + R_V \cdot R_{внутр}} \quad (2)$$

где R_3 – сопротивление зуба; $R_{внутр}$ – внутреннее сопротивление аппарата; R_V , R_A – входное и внутреннее сопротивления блоков измерения U_3 и I_3 , соответственно; $E_{ип}$ – напряжение источника питания.

Согласно (2) при измерении тока I_3 целесообразно, чтобы $R_V \gg R_{3.МАКС}$, $R_{внутр} \rightarrow 0$, $R_A \ll R_{3.МИН}$. При этом $R_{3.МАКС}$ определяется, исходя из цены деления аппарата, а $R_{3.МИН}$ – при токе I_3 , равном 100 мкА.

В результате исследования работы аппаратов «ДентЭст» и «СТИЛ» были построены выходные ВАХ (рисунок 1) при $R_V = 1$ МОм и $R_A = 100$ Ом. Предварительно была осуществлена внутренняя калибровка аппаратов

«СТИЛ» и разработанного авторами «ЭДЗ-1»: при замкнутых активном и пассивном электродах в режиме источника тока был установлен ток ограничения 100 мкА. Цифровой аппарат «ДентЭст» работает только в режиме источника напряжения, без калибровки и ограничения тока I_3 [4], что может вызывать при $I_3 > 100$ мкА болезненные ощущения у пациента.

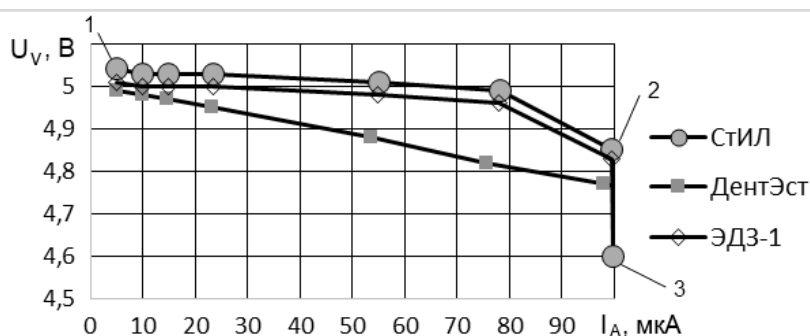


Рисунок 1 – Выходные вольтамперные характеристики аппаратов для диагностики твердых тканей зубов

Исследования показали, что при напряжении $E_{ип} = 5$ В источника питания аппарат «ДентЭст» имеет внутреннее сопротивление $R_{внутр} = 2,33$ кОм; аппарат «СТИЛ» – $R_{внутр} = 100$ Ом; разработанный аппарат «ЭДЗ-1» – $R_{внутр} = 1$ Ом.

Так как согласно [4], диапазон значений тока (при котором осуществляется диагностика зуба) составляет 0-100 мкА, то согласно рисунку 1 можно считать, что максимальное отклонение напряжения между электродами, обусловленное $R_{внутр}$ и R_3 , составляет 2,4% от 5 В.

Для аналогового аппарата «СТИЛ» (рисунок 1) при увеличении тока через зуб напряжение U_3 практически не изменяется. Это позволяет пренебречь изменением напряжения на горизонтальном участке 1-2 ВАХ источника напряжения. Далее – на участке 2-3 ВАХ (режим источника тока) ток I_3 стабилизируется, а напряжение U_V уменьшается до нуля. Это показывает, что источник напряжения при токе $I_3 > 100$ мкА работает, как источник тока.

Для разработанного цифрового аппарата «ЭДЗ-1» ВАХ полностью аналогична ВАХ аналогового аппарата «СТИЛ».

Оценим относительную погрешность ε определения тока I_3 :

$$\varepsilon = \frac{I_3 - I_{ЭТ}}{I_{ЭТ}} \cdot 100\% \quad (3)$$

где $I_{ЭТ} = \frac{E_{ип}}{R_3}$ – эталонный ток через

зуб; I_3 – информационный ток, протекающий через зуб, вычисленный по формуле (2).

На рисунке 2 приведен график относительной погрешности ε тока I_3 для различных значений сопротивлений аппарата, при этом номинальные значения сопротивлений $R_{внутр}$, R_V и R_A соответственно равны 2,33 кОм, 1 МОм и 100 Ом.

На рисунке 2 зависимость 1 (обозначенная окружностями) соответствует погрешности ε при номинальных значениях сопротивлений; зависимость 2 (обозначенная треугольниками) соответствует номинальным значениям $R_{внутр}$, R_V и R_A при $R_A' = 0,1 \cdot R_A$; кривая 3 – при $R_V' = 10 \cdot R_V$; зависимость 4 – при $R_{внутр}' = 0,1 \cdot R_{внутр}$. Анализ показал, что при увеличении сопротивления R_V и при уменьшении сопротивления $R_{внутр} \sim$ на порядок, погрешность ε определения тока I_3 уменьшается в 6-8 раз при изменении R_3 в диапазоне от 10 до 50 МОм.

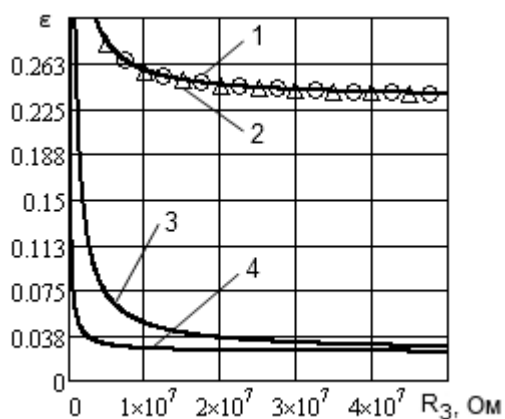


Рисунок 2 – Зависимости относительной погрешности ϵ тока I_3 от сопротивления R_3

На рисунке 3 приведена структурная схема цифрового аппарата «ДентЭст» (где сопротивления R_1 и R_2 соответствуют внутреннему сопротивлению аппарата и имеют значения 330 Ом и 2 кОм, соответственно). В процессе измерения тока I_3 аналого-цифровой преобразователь (АЦП) оцифровывает падение напряжения на сопротивлении R_2 . Микроконтроллер МК обрабатывает эти данные и выводит их на дисплей. Также к МК подключены кнопки управления.

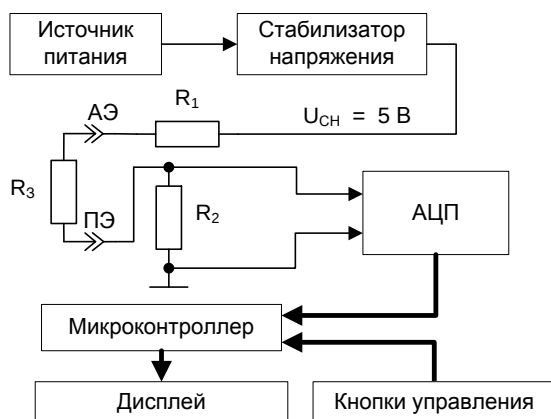


Рисунок 3 – Структурная схема цифрового аппарата «ДентЭст»

Аналоговый аппарат «СТИЛ» может работать в режиме источника напряжения и источника тока. Он представляет собой стабилизатор тока, собранный на транзисторе, включенном по схеме с общей базой. Рабочая точка транзистора выбрана таким образом, чтобы получить высокое выходное сопротивление каскада порядка сотен килоом (режим стабилизации тока), что обеспечивает неизменяемость тока через зуб в интервале его сопротивлений от 0 до 10кОм и ослабле-

ние чувствительности по току устройства при сопротивлениях, соответствующих значительным поражениям тканей зубов. В области малых значений тока через зуб и больших значений его сопротивления (соответствующих начальному кариесу) транзистор насыщается, при этом стабилизируется падение напряжения на сопротивлении зуба (режим стабилизации напряжения) и обеспечивается высокая чувствительность по току. В данном случае, использование источника тока позволяет ограничить максимальный ток между электродами и уменьшить болевые ощущения у пациентов.

Цифровой аппарат «ДентЭст» работает от источника стабилизированного напряжения, при этом при токе более 50 мкА необходимо учитывать, что напряжение между активным и пассивным электродами уменьшается за счет внутреннего постоянного сопротивления равного 2,33 кОм. К недостаткам аппарата «ДентЭст» можно отнести следующее. Изменение масштаба графической шкалы не изменяет коэффициент преобразования АЦП, т.е. чувствительность аппарата при малых токах (от 0 до 10 мкА) не регулируется. Кроме того, величина тока I_3 ограничивается только постоянным сопротивлением и при утечке через мягкие ткани (десну и др.) пациент может испытывать болевые ощущения (макс. ток аппарата 2,06 мА). В аналоговом аппарате «СТИЛ» используется режим источника тока в качестве ограничителя тока I_3 для снижения болевых ощущений у пациентов.

На рисунке 4 приведена структурная схема разработанного цифрового аппарата «ЭДЗ-1», обладающего лучшими метрологическими характеристиками. Для измерения тока I_3 используется преобразователь ток-напряжение (ПТН), чтобы исключить влияние внутреннего сопротивления аппарата на результаты измерений. В зависимости от величины протекающего тока через сопротивление R_3 , микроконтроллер МК переключает активный электрод АЭ либо к выходу стабилизатора напряжения, либо к выходу источника тока. Достоинством схемы является то, что на выходной ВАХ переходный участок от источника напряжения к источнику тока сведен к минимуму и определяется разрядностью АЦП.

В целом, выходные характеристики всех трех аппаратов совпадают в рабочем диапазоне токов от 0 до 100 мкА, при этом для постановки пациенту точного диагноза состоя-

ния зуба необходимо измерять напряжение между активным и пассивным электродами

одновременно с током через зуб.

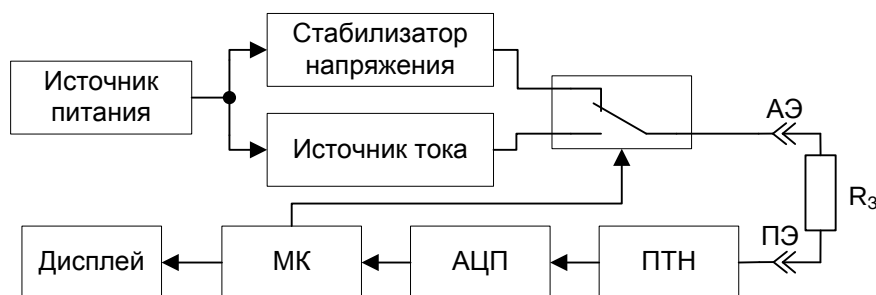


Рисунок 4 – Структурная схема цифрового аппарата «ЭДЗ-1»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ипполитов Ю.А., Борисова Э.Г., Панкова С.Н. и др. Роль фотоиндуцированной флуоресценции и электрометрии в оценочной характеристике и реминерализующей терапии твердых тканей зуба // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 9. – С. 408-410.
2. Исследование смешанной слюны: [Электронный ресурс] // сайт доктора Бакалова. 2010. URL: <http://www.stomfak.ru/detskaya-stomatologiya/issledovanie-smeshannoj-slyuny.html> (Дата обращения: 15.10.2015).
3. Адян Н.Н. Применение дентин-герметизирующего ликвида в комплексном лечении некариозных поражений зубов (клиновидных дефектов и эрозий): автореф. дис. канд. мед. наук

/ Н.Н.Адян; Первый Московский медицинский университет имени И.М.Сеченова. – М., 2011. – 20с.

4. Руководство по эксплуатации «Аппарат электродиагностический «ДентЭст». – М.: Гео-софт-Дент. – 2010.

5. Бартенев В.С. Исследование влияния жевательных нагрузок на твердые ткани зубов: автореф. дис. канд. мед. наук / В.С. Бартенев; ЦНИИ стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. – М., 2007. – 26 с.

Кириллов Андрей Игоревич – м.н.с., тел.: 8-922-6869191, e-mail: pattl7@mail.ru;

Шелковников Евгений Юрьевич – д.т.н., зав. лаб., e-mail: evshelk@mail.ru,

Кизнерцев Станислав Рафилович – к.т.н., с.н.с., тел. 89043129382, e-mail: iit@udman.ru