

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.33:543.423.1

**А. В. ГЛАЗЫРИН
А. А. КУЗНЕЦОВ**

Омский государственный
университет путей сообщения

ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТАЛИ МЕТОДОМ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Установлена зависимость между средней величиной зерна литейной стали и измеряемыми параметрами атомно-эмиссионного спектра. Проведены исследования, подтверждающие повторяемость и адекватность предложенной зависимости от структурного состояния материала.

Ключевые слова: атомно-эмиссионный спектральный анализ, термообработка, структура материала, коэффициент детерминации.

На предприятиях машино- и приборостроения большое распространение получил атомно-эмиссионный способ спектрального анализа материалов. Благодаря развитию элементной базы, устройств обработки сигналов стало возможным проводить анализ концентраций элементов в материале за короткое время. Представляемая возможность подробной обработки спектрометрических данных стала основой для разработки новых методик и совершенствования не только метрологических показателей, но и создания методик, учитывающих особенности структуры материалов.

Влияние структуры материалов на результаты спектрального анализа. Структура сплавов опреде-

ляется их химическим составом, термической обработкой и деформацией. Известно, что, наряду с термической обработкой, горячая и холодная деформация металла также приводит к значительному изменению его структуры. Структурные изменения, вызванные деформацией, и связанная с ними энергия наклепа резко изменяют структурно-чувствительные механические и физические свойства материалов. Так, наклеп вызывает прирост электросопротивления, который у твердых растворов доходит до 10–20 %, а в случае упорядоченных твердых растворов > 100 %. Кроме того, наблюдается анизотропия свойств, возникающая в результате образования текстуры при больших степенях деформации. В итоге

особенности кристаллизации сплавов, их термическая обработка и пластическая деформация оказывают решающее влияние на формирование макро-, микро- и субструктур. Обобщение имеющегося экспериментального материала позволяет отметить следующие основные особенности влияния структуры сплавов на результаты их спектрального анализа [1].

1. Влияние структуры выражается как в смещении, так и в изменении угла наклона градуировочных кривых для образцов с различными видами термической обработки или технологии изготовления. Изменение угла наклона или пересечение градуировочных кривых свидетельствуют о зависимости степени влияния структуры от интервала концентраций определяемого элемента. Изменение угла наклона и смещение градуировочных кривых указывают на то, что влияние является причиной не только изменения условий испарения материала пробы, но и изменения соотношения атомов элемента между твердой и парообразной фазами.

2. При одном и том же виде термической обработки влияние структуры зависит от степени легирования сплавов. Сравнение результатов, полученных при исследовании простой и сложнолегированной стали (конструкционной и быстрорежущей), показывает, что в большинстве случаев при определении одноименных элементов влияние структуры больше для сложнолегированной.

3. Степень влияния структуры на результаты спектрального анализа связана с видом термической обработки или технологией изготовления. Максимальные систематические расхождения в результатах анализа в большинстве случаев обусловлены теми видами термической обработки, которые приводят к наибольшему различию в структуре (закалкой — отжигом, отжигом — отпуском и др.).

4. Влияние структуры в большой степени зависит от времени предварительного обескисливания. Эта закономерность отчетливо наблюдается при анализе простых и сложнолегированных марок стали, чугунов обычных и легированных, а также других цветных сплавов. Характерно, что при определении разных элементов в сплавах одного типа длительность предварительного обескисливания сказывается по-разному.

5. Влияние структуры при применении высоковольтного искрового разряда в значительной степени зависит от его параметров. Так, увеличение емкости до 0,02 мкФ обычно приводит к подавлению или уменьшению влияния структуры на результаты анализа стали, чугунов и жаропрочных сплавов. Наоборот, увеличение самоиндукции в большинстве случаев приводит к значительному возрастанию влияния структуры на результаты анализа сплавов даже при применении длительного обескисливания и большой емкости.

6. Влияние структуры зависит от материала подставного электрода. В ряде случаев применение медного или вольфрамового подставного электрода по сравнению с угловым дает меньшие систематические расхождения.

Влияние параметров источника спектра на структурную чувствительность. При рассмотрении особенностей процессов на электродах, протекающих при обескисливании (обжиге) образцов разной структуры, состава и размеров необходимо иметь в виду, что развитие ряда явлений (электрической эрозии, окисления, диффузии), протекающих в зоне воздействия разряда, сильно зависит как от параметров ис-

точника, так и типа атмосферы в межэлектродном промежутке (воздуха, очищенного аргона и др.). Был предложен «стадийный» механизм влияния структуры на результаты анализа сплавов в атмосфере воздуха, основные черты которого можно кратко описать следующим образом. В самые первые моменты воздействия искровых разрядов определяющую роль играет различие в исходных физико-химических свойствах образцов с разной структурой.

Масштабы разрушения пробы будут зависеть от исходного структурного состояния сплавов. В этот период из-за максимального различия в физико-химических свойствах образцов имеет место наибольшее влияние структуры на результаты анализа. Затем развитие процессов окисления и азотирования вместе со значительным нагревом поверхностных слоев образцов ведет к существенному преобразованию исходных структур образцов. Начавшееся образование твердых растворов и разрушение поверхностных слоев из-за окисления является причиной того, что влияние исходной структуры на результаты анализа уменьшается. И, наконец, на третьей стадии обескисливания процесс образования твердых растворов заканчивается и, несмотря на различие в общем количестве поступившего в межэлектродный промежуток материала из образцов с разной структурой, относительное количество атомов легирующих элементов и железа в излучающем облаке становится одинаковым. Следствием этого является уменьшение влияния различий в структуре сплавов на результаты их анализа. В случае резко различного поступления материала пробы из образцов с разной структурой, например цементированных и азотированных, с одной стороны, и отожженных — с другой, вариация в условиях возбуждения может служить причиной дополнительной систематической ошибки в результатах анализа, даже если образование твердых растворов уже закончилось. Затягивание процесса обескисливания может приводить к значительному изменению химического и фазового состава поверхностных слоев пробы вследствие интенсивного окисления некоторых элементов и изменения общего соотношения элементов в металле и оксидах.

С переходом спектрометров на режимы регистрации, с использованием приборов с зарядовой связью, а также обеспечением передачи данных на персональный компьютер стало возможным более детальное исследование получаемых данных. В работе исследуется влияние величины зерна литойной стали на интенсивности отдельных участков спектра. Величина зерна является одним из основных параметров структурного состояния материала и непосредственно определяет его механические свойства.

Классическая задача атомно-эмиссионного спектрального анализа заключается в определении химического состава образца. Однако, выполнив дополнительную обработку данных, становится возможным получения информации о структурных параметрах материалов при одинаковом количественном составе.

Связь работы выхода электрона со структурой материала. Работа выхода электрона [2], как и свободная поверхностная энергия, значительно зависит от состояния поверхности исследуемого образца, от адсорбции примесей на поверхности. Однако, если не рассматриваются сплошные пленки толщиной в несколько атомных слоев, покрывающих поверхность, то принципиально определяющую роль играет электронная структура исследуемого твердого или

Механические свойства и структура образцов

Таблица 1

Образец	№ 2	№ 33	№ 55
Обработка	—	Модификатор СМС	Модификатор СМС, нормализация при $t = 880$ °С
Предел прочности, Н/мм ²	392,3	433,1	519,8
Предел текучести, Н/мм ²	372,7	382,5	460,9
Относительное удлинение, %	25	25	29
КСУ при 20 °С, Кгс/см ²	4,0	6,0	12,5
КСУ при –60 °С, Кгс/см ²	0,8	1,1	6,7
Средняя площадь зерна, мкм ²	1804,8	716,6	554,7

Параметры линий, чувствительных к изменению структуры

Таблица 2

Длина волны	Элемент	Измерение	Интенсивность I		
			№ 2	№ 33	№ 55
193,083	С	1	1573508	1117151	1063689
		2	1528322	1072183	1073308
		среднее	1550915	1094667	1068499
206,020	Ni	1	974331	1357881	1364846
		2	968437	1341428	1394774
		среднее	971384	1349655	1379810
267,716	Cr	1	664628	839021	871884
		2	671389	850389	884418
		среднее	668009	844705	878151

жидкого образца. Она обуславливает особенности поверхностного и приповерхностного слоев, с которых и происходит эмиссия электронов.

Проведение эксперимента. Исследования проводились на образцах стали 25Л, подвергнутых различным видам термообработки, в том числе модифицированных с помощью комплекса СМС, приводящих к различной структуре и механическим свойствам [3]. Комплекс СМС позволяет улучшать физико-механические свойства металлов и сплавов. Характеристики образцов при механических испытаниях приведены в табл. 1.

При проведении спектрального анализа данных образцов, погрешности параллельных измерений количественного состава легирующих элементов не превысили требований нормативных документов.

При детальном исследовании спектров данных образцов, отмечен ряд спектральных линий, имеющих изменения интенсивностей относительно интенсивностей линий сравнения (железо для сталей). Длины волн и абсолютные интенсивности данных линий [4] приведены в табл. 2. Из приведенной таблицы видно, что различия интенсивностей при параллельных измерениях составили менее 5 %, что свидетельствует о хорошей повторяемости результатов анализа сплава. Спектры образцов № 2, № 33, № 55, наложенные друг на друга для выявления различий интенсивностей спектральных линий, приведенных в табл. 2, показаны на рис. 1 и 2.

Различия в интенсивностях спектра у некоторых линий достигают примерно 30 % при большом совпадении интенсивностей остальных линий, это свидетельствует о явном отклике на влияние термообработки образцов.

Между образцами № 2 и № 33 заметны изменения по большому числу линий, в то время как между образцами № 33 и № 55 характерны изменения у меньшего числа линий, в числе которых: С (193,090 нм), Ni (206,020 нм), Cr (267,716 нм).

Для калибровки спектрометра по изменению размеров зерна у образцов стали типа 25Л с различными видами ТО предложена функция, включающая параметры, реагирующие на изменение структуры. Вид функции обоснован в работе [5], а ее параметры, учитывающие особенности структуры материала подобраны в результате эксперимента, представлены в выражении (1).

$$F = \frac{a_1 \cdot I_C + a_2 \cdot I_{Ni} + a_3 \cdot I_{Cr}}{b_1 \cdot I_1 + b_2 \cdot I_2 + b_3 \cdot I_3}, \quad (1)$$

где I_C — интенсивность спектральной линии С с длиной волны 193,090 нм;

I_{Ni} — интенсивность спектральной линии Ni с длиной волны 206,020 нм;

I_{Cr} — интенсивность спектральной линии Cr с длиной волны 267,716 нм;

I_1, I_2, I_3 — интенсивности стабильных линий сравнения Fe (188,873, 208,412, 278,370) нм;

a_1, a_2, a_3 — весовые коэффициенты, чувствительных линий;

b_1, b_2, b_3 — весовые коэффициенты, стабильных линий.

Весовые коэффициенты $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ найдутся при решении задачи оптимизации, при условии максимума коэффициента детерминации ($R^2 \rightarrow 1$). Значения функции и соответствующие им значения средней площади зерна представлены в табл. 3,

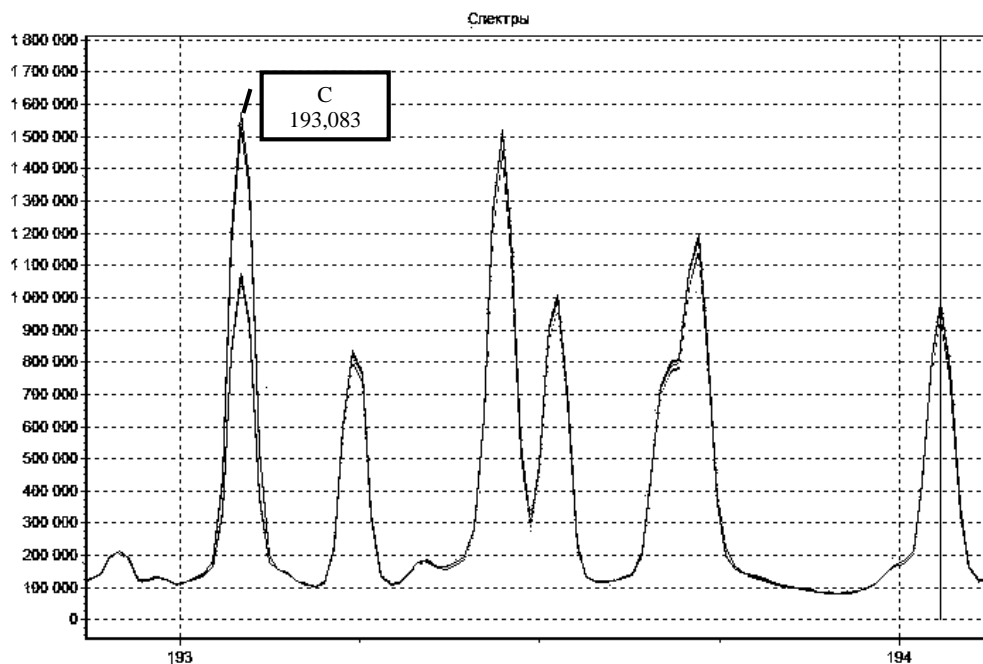


Рис. 1. Интенсивности спектральных линий в диапазоне длин волн 193–194 нм

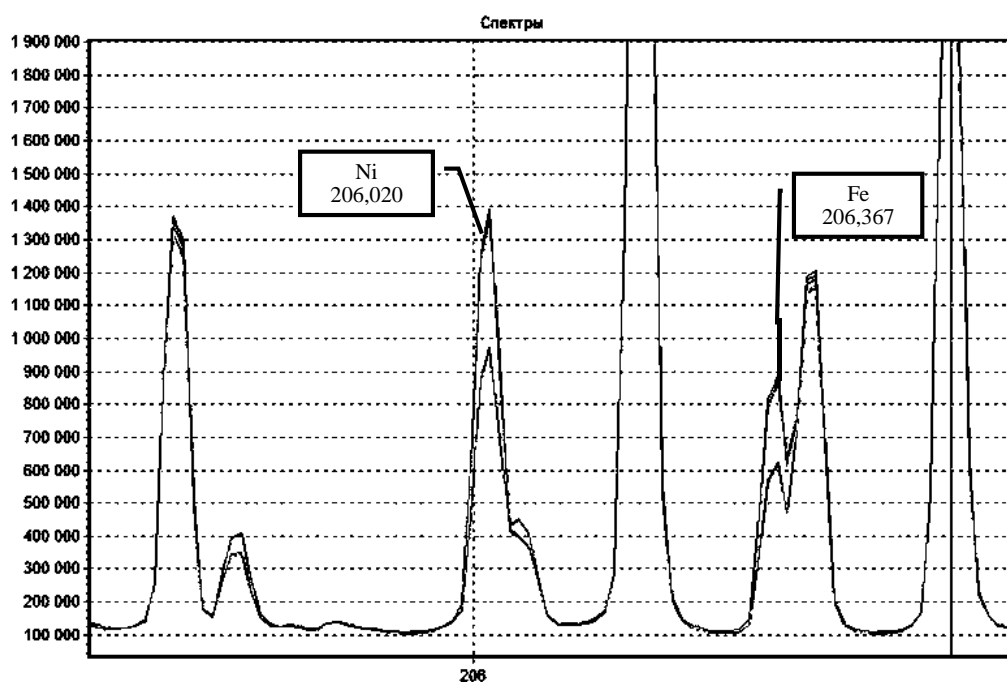


Рис. 2. Интенсивности спектральных линий в диапазоне длин волн 205–207 нм

Таблица 3
Значения функции F

Образцы	№ 2	№ 33	№ 55
Функция F	5,172	3,285	3,007
Средняя площадь зерна, мкм ²	1804,8	716,6	554,7

Таблица 4
Значения весовых коэффициентов

a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3	R^2
-0,347	-0,049	1	0,324	0,691	-0,225	0,999

значения весовых коэффициентов представлены в табл. 4.

В качестве образцового использовался метод металлографии, подтвердивший адекватность предложенного способа оценки структурного состояния материала. Для определения средней площади зерна образцов № 2, № 33, № 55 был использован инвертированный микроскоп Olympus GX41 с программным обеспечением SIAMS Photolab 4.0. Снимки с увели-

чением 200:1 представлены на рис. 3–5. Из представленных рисунков видно, что образец № 55 имеет более мелкозернистую структуру по сравнению с образцами № 33 и № 2. В то же время ярко выражена разница в величине зерна между образцами № 2 и № 33.

Как видно из рис. 6, градуировочный график представляет собой прямую линию с коэффициентом детерминации равным $R^2 = 0,999$, что свидетельствует

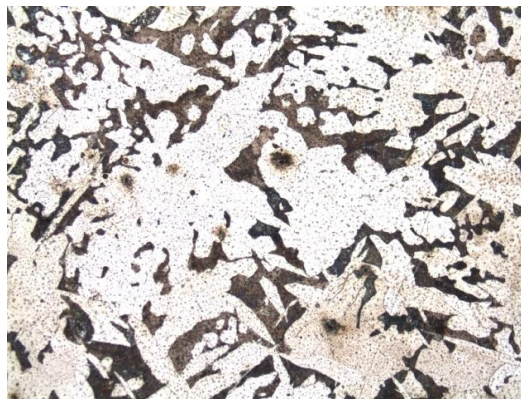


Рис. 3. Снимок структуры образца № 2 с увеличением 200:1

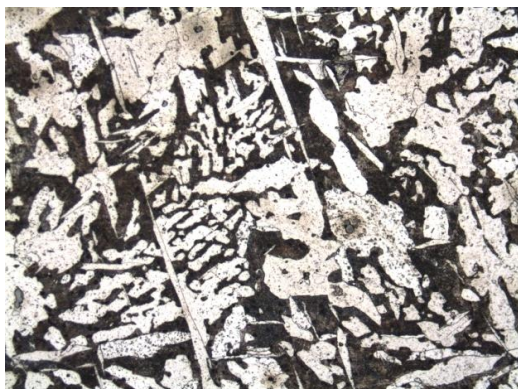


Рис. 4. Снимок структуры образца № 33 с увеличением 200:1

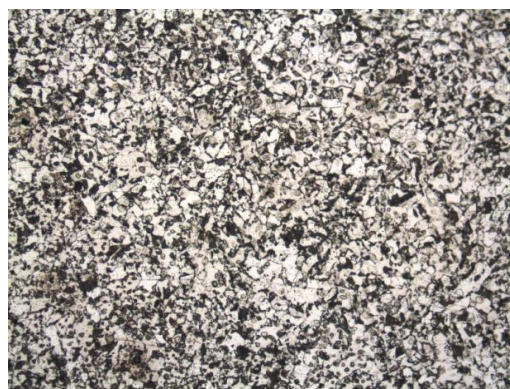


Рис. 5. Снимок структуры образца № 55 с увеличением 200:1

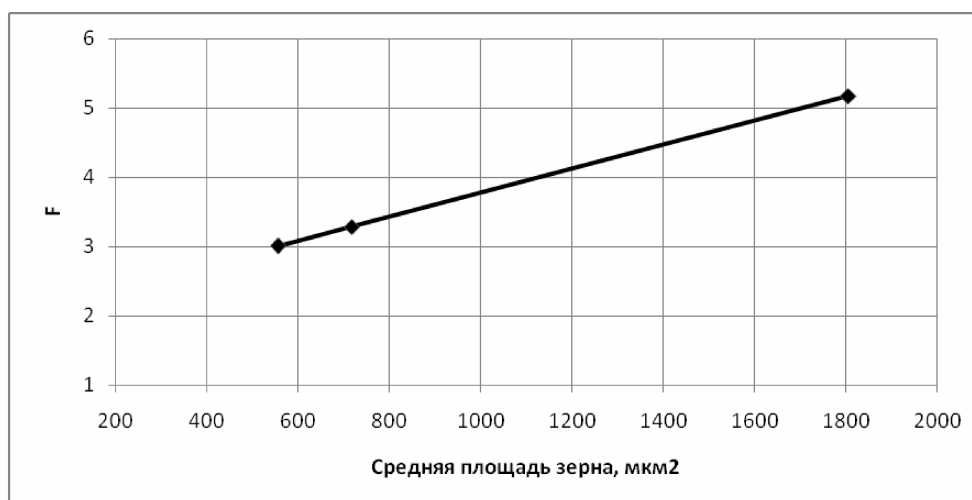


Рис. 6. График зависимости функции F от средней площади зерна

о высокой степени корреляции между измеренными параметрами и средним размером зерна.

Заключение. Проведенные исследования позволяют расширить стандартное назначение приборов атомно-эмиссионного спектрального анализа с возможностью проводить многопараметровый анализ сталей и сплавов, включая количественный состав и оценку структуры материалов.

Библиографический список

1. Буравлев, Ю. М. Основы атомно-эмиссионного спектрального анализа / Ю. М. Буравлев. — Донецк, ДонНУ, 2001. — 254 с.
2. Ибрагимов Х. И. Работа выхода электрона в физико-химических исследованиях расплавов и твердых фаз на металлической основе / Х. И. Ибрагимов, В. А. Корольков. — М.: Металлургия. 1995. — С. 36–38.
3. Миннеханов, Р. Г. Влияние модифицирования наночастицами на служебные свойства низкоуглеродистой стали / Р. Г. Миннеханов, Г. Н. Митраков // Омский регион — месторождение возможностей: материалы науч.-техн. конф. — Омск: Изд-во ОмГТУ. 2011. — 66 с.
4. Таблицы спектральных линий / А. Н. Зайдель [и др.]. — М.: Наука. 1969. — 784 с.
5. Кузнецов, А. А. Способ достижения инвариантности градуировочных графиков при определении количественного

состава металлов и сплавов автоматизированными системами АЭСА / А. А. Кузнецов, О. Б. Мешкова, Д. Е. Зачатейский // Омский научный вестник. — 2010. — № 2(90) — С. 169–172.

ГЛАЗЫРИН Андрей Васильевич, аспирант кафедры «Теоретическая электротехника».

Адрес для переписки: kuznetsovaa@omgups.ru

КУЗНЕЦОВ Андрей Альбертович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника».

Адрес для переписки: kuznetsovaa@omgups.ru

Статья поступила в редакцию 03.04.2012 г.

© А. В. Глазырин, А. А. Кузнецов

УДК 623.438.3

**О. И. ЧИКИРЕВ
И. Ю. ЛЕПЕШИНСКИЙ
К. В. КОСТИН
В. А. МУНИН**

Омский государственный
технический университет

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ С ВВЕДЕНИЕМ ГОЛОСОВОЙ АВАРИЙНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ БРОНЕОБЪЕКТОВ

Целью данной работы является модернизация аварийной сигнализации объектов многоцелевых гусеничных и колесных машин. Модернизация заключается в замене тональных сигналов предупреждения на голосовые. Такая модернизация позволит экипажу быстрее идентифицировать сигнализирующую систему и принять решение на устранение причины критического состояния системы. В качестве примера взята авиационная система оповещения.

Ключевые слова: сигнализация, техника, звук.

При разработке и модернизации современной военной техники одним из направлений является создание устройств, позволяющих проводить непрерывный контроль над параметрами состояния основных систем изделия, которые, в свою очередь, определяют его пригодность к использованию по назначению. Одним из способов контроля за состоянием систем объекта является звуковая сигнализация.

Звуковые сигналы могут передаваться или в форме тональных звуков (гудки, звонки, сирены, зуммер и т.п.), обозначающих какие-то события, или в речевой форме.

На сегодняшний день область применения звуковых сигналов ограничена. Это связано с теми ограничениями и недостатками, которые присущи звуковому способу передачи информации:

1) для пространственных задач, таких как управление и навигация, оптимально использование визуальных стимулов и ручного управления;

2) речь задействует кратковременную память человека, поэтому в тех случаях, когда ресурсы кратковременной памяти нужны для других задач, предпочтительнее использовать визуальное представление информации;

3) речь — относительно медленный канал передачи информации, процесс поступления речевого сообщения растянут во времени и требует запоминания, поэтому речевое сообщение нельзя иметь сразу целиком, к нему сложно обратиться повторно.

Многочисленными исследованиями установлено [1], что в общем случае использование визуального канала передачи информации предпочтительнее слухового, поэтому там, где можно, рекомендуется применять визуальное представление информации. А вот в качестве сигнализации звуковые сигналы эффективнее тактильных (в частности, время реакции на звуковой сигнал меньше) и в ряде случаев могут быть предпочтительнее визуальных.

Перед визуальными сигналами у звуковых есть еще то преимущество, что они всенаправленные, то есть экипаж воспринимает их независимо от того, куда повернута его голова. В связи с этим звук хорошо подходит для передачи экипажу предостережений.

Наиболее эффективно использование звуковых сигналов для аварийной сигнализации. Можно также использовать звук для предупреждающей сигнализации, но для уведомляющей сигнализации использовать этот способ уже не рекомендуется:

— ложные или малоценные звуковые сигналы очень раздражают экипаж, а при значительном количестве звуковых сигналов вероятность того, что какие-то из них окажутся ложными и малоценными, становится значительной;

— при постоянном задействовании звуковых сигналов экипаж к ним быстро адаптируется, в результате эффективность такой сигнализации падает;

— звуковые сигналы могут создавать неразбериху в гарнитуре экипажа, т.е. могут помешать услышать другую нужную информацию.

Еще одна функция звуковых сигналов — привлечение внимания к индикаторам на пультах управления, на которых уже детализируется информация о произошедшем событии. Для перечисленных задач достаточно иметь возможность воспроизведения заранее надиктованных речевых сообщений и не изменяющихся звуковых тональных сигналов. Техническая реализация подобных устройств не представляет большой сложности. На объектах предыдущих поколений тональные сигналы генерировала аппаратура, встраиваемая в различные бортовые системы [2].

Наибольшее распространение средства речевой сигнализации получили в авиационной технике. С развитием средств цифровой записи речи бортовые системы стали сохранять и воспроизводить заранее записанные речевые сообщения в цифровом формате. Такие системы способны также хранить в своей памяти и воспроизводить по мере необходимости любые звуковые тональные сигналы, так что необходимость в дополнительной аппаратуре для генерации таких сигналов отпала.

Техническая реализация. Средства воспроизведения речи (СВР) конструктивно могут оформляться в виде отдельного небольшого блока или могут представлять из себя модуль, встраиваемый в другой блок.

В любом случае СВР принимает входные дискретные сигналы от бортовых систем и датчиков и формирует по ним речевые сообщения и тональные сигналы, подаваемые в виде электрических сигналов в аппаратуру внутренней связи или непосредственно в гарнитуру пилота. Входные дискретные сигналы могут приниматься как в форме разовых команд, так и в виде последовательного кода по ARINC 429 или MIL-STD-1553. В качестве примера встраиваемого варианта СВР можно привести устанавливаемый на истребителе Eurofighter модуль Warnings Generation Module (Enosa). Он способен выдавать до 330 предупреждений. Также он обеспечивает обратную связь при речевом управлении: подтверждает команду, дает ответ на заданный пилотом вопрос. Речевые сообщения генерируются в цифровом формате. Модуль помещен в блок речевых интерфейсов.

Ряд встраиваемых СВР разработан Ульяновским КБ приборостроения [3]. Модуль ввода-вывода MBV-33 выполнен в виде одноплатной конструкции по ARINC 600 и имеет следующие характеристики:

- обеспечивается 8,5 минут речи (примерно 550 слов, 250 сообщений);
- частота дискретизации 8 кГц;
- двухпроводный симметричный выход ГОСТ В21264-75, выходное напряжение 8,5 – 15,6 В на частоте 1000 Гц, нагрузка 300 ± 60 Ом;
- словесная разборчивость речевых сообщений не хуже 2-го класса по ГОСТ 20755-75, т.е. составляет не менее 96 % при воспроизведении с помощью аппаратуры внутренней связи кабины, когда пилот находится в шатном снаряжении. Модуль выдает как речевые сообщения, так и тональные звуковые сигналы.

Модуль синтеза речи MCP-1 выполнен в виде одноплатной конструкции по ARINC 600. Он содержит цифровой процессор обработки сигналов (33 MFLOPS, 17 MIPS) и имеет следующие характеристики:

- частота дискретизации регулируемая, до 19,2 кГц, что обеспечивает высокое качество воспроизведения;

— обеспечивает воспроизведение речевых сообщений и диалогов общей длительностью до 50 мин;

— обеспечивает оперативное изменение записанных речевых сообщений (имеет вход для цифровой записи речи);

— имеет возможность записи в полете речевых сообщений пилота или радиообмена в неразрушаемую память для последующего воспроизведения, общая длительность записываемой речи ограничена объемом памяти, оставшимся свободным от воспроизводимых речевых сообщений, т.е. в пределах $(50 - T_{всп})$ мин.

При разработке и модернизации современной военной техники одним из направлений является создание систем, позволяющих проводить непрерывный контроль параметров.

На танках Т-80, Т-90 устанавливается блок аварийной сигнализации БАС-6А, который обеспечивает выдачу световой и звуковой сигнализации членам экипажа о критических параметрах силовой установки. Звуковая сигнализация осуществляется через аппаратуру внутренней связи и коммутации (АВСК). Аналогичная сигнализация предусмотрена от прибора радиационной химической разведки (ПРХР) и системы постановки завес (СПЗ). Недостатком существующей системы является то, что звуковая сигнализация передается тональным звуковым сигналом. При этом экипажу, при выполнении боевой задачи, приходится отвлекаться на распознавание сигнализирующей системы. На танке Т-72 тональная звуковая сигнализация предусмотрена только от ПРХР. Для сигнализации о критических параметрах силовой установки предусмотрена только световая сигнализация.

При проведении работ по подготовке танка Т-72 к преодолению водной преграды, необходимо выполнить проверку герметичности изделия, для этого требуется запустить силовую установку, закрыть все люки [4]. При этом по требованиям безопасности наличие членов экипажа внутри машины исключается. Таким образом, контроль за состоянием силовой установки на время проверки герметичности изделия отсутствует.

Разработанное устройство позволяет решить указанные выше проблемы. После запуска силовой установки и закрытия люков оно обеспечивает прослушивание информации о состоянии силовой установки через розетку АВСК установленную снаружи объекта на крыше башни. Устройство также может использоваться при обучении механиков-водителей, при осуществлении контроля инструктором параметров силовой установки дистанционно.

Перед использованием сигнального устройства (рис. 1) необходимо отключить выносной пульт механика-водителя ПВ-85 от переходника П-25 в отделении управления объекта. Подключить кабель 1 устройства к переходнику П-25 вместо пульта ПВ-85, пульт ПВ-85 подключить к разъему 2 устройства, вилку 5 включить в розетку ШР-51 в отделении управления, подключить разъем 4 к нагрудному переключателю АВСК, запустить двигатель объекта, включить АВСК, включить выключатель 3 устройства, нажать кнопку 6 и прослушать информацию через шлемофон.

В основе конструкции устройства лежит микросхема ISD1416P — цифровой диктофон (рис. 2). При подаче питания на вывод +24 В включается дежурный режим, при этом включается микросхема УМЗЧ, а диктофон отключен. При нажатии на кнопку «ПРОВЕРКА/ЗАПИСЬ» или поступлении сигнала на



Рис. 1. Сигнальное звуковое устройство механика-водителя Т-72Б:

1 — кабель; 2 — разъем; 3 — выключатель;
4 — разъем; 5 — вилка; 6 — кнопка

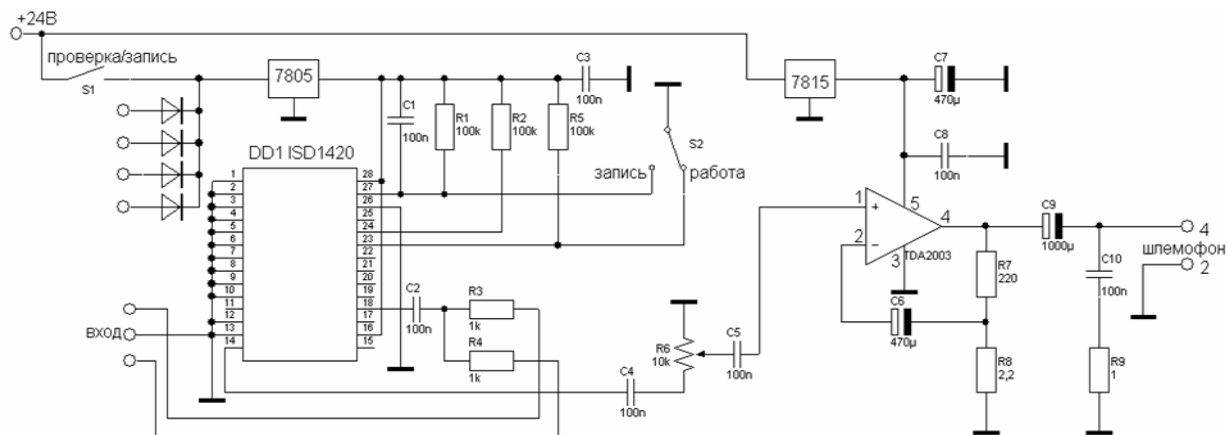


Рис. 2. Принципиальная схема сигнального звукового устройства механика-водителя Т-72

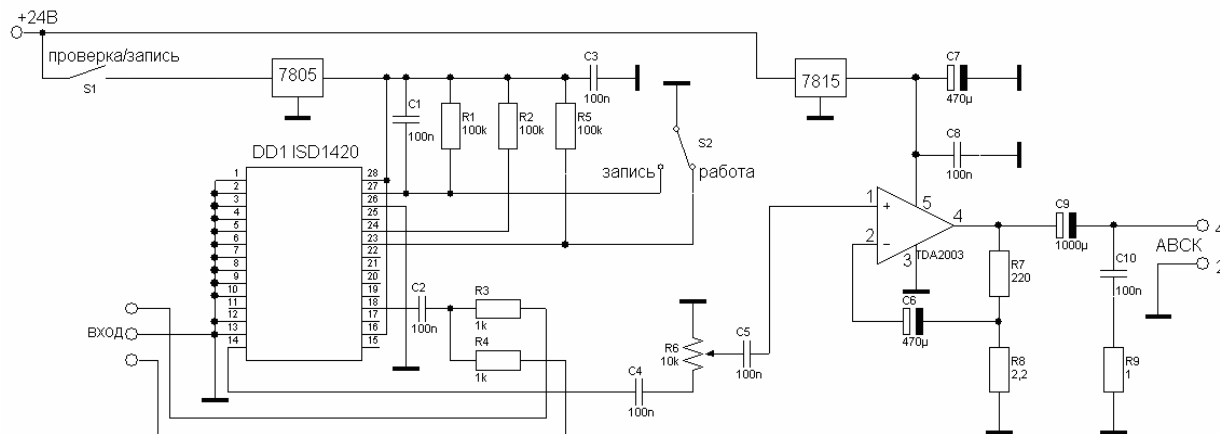


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема модуля, блока аварийной речевой сигнализации

любой из входов 1 — 4 включается воспроизведение записанного фрагмента. В устройстве имеются два режима: «РАБОТА» и «ЗАПИСЬ». Для записи необходимо перевести переключатель S2 в положение «ЗАПИСЬ», подключить источник сигнала к входу и, удерживая кнопку «ПРОВЕРКА/ЗАПИСЬ», сохранить фрагмент в памяти устройства. После данной процедуры нужно обязательно переключатель рода работы установить в положение «РАБОТА». Необходимый уровень громкости в шлемофонах устанавливается подстроечным резистором R6.

Разработанная и апробированная схема позволяет создать блок аварийной речевой сигнализации объектов «БАРС» который может собирать информацию от различных устройств БАС, ПРХР, СПЗ и т.п., распознавать и передавать ее в виде речевой информации членам экипажа через АВСК.

Предлагаемое устройство, с целью наименьшего изменения конструкции выпускаемой серийно аппаратуры внутренней связи и коммутации, конструктивно состоит из двух независимых модулей имеющих одинаковую конструкцию. Один устанавли-

ливается во вращающейся башне и предназначен для работы с аппаратурой расположенной в ней, второй в корпусе объекта. Принципиальная электрическая схема модуля представлена на рис. 3.

Монтажная схема блоков к аппаратуре АВСК-174 представлена на рис. 4.

Таким образом, используя разработанную и апробированную схему блока аварийной речевой сигнализации объектов, представляется возможным дооборудовать существующие образцы бронетанковой техники современными средствами сигнализации, повысив тем самым их боевую эффективность.

Дальнейшим перспективным направлением совершенствования средств воспроизведения речи является доведение их возможностей до синтеза речи. Задача сознательного диалога с экипажем пока не стоит: это станет возможным только с появлением систем искусственного интеллекта, чего вряд ли следует ожидать в ближайшие 10 лет. Но уровень синтеза речи, сравнимого с естественной речью, достигнут в коммерческих приложениях уже несколько лет назад.

В функции такой системы могло бы входить зачитывание не заранее подготовленных речевых сообщений, а полноценный синтез речи по тексту, например, зачитывание сообщений, полученных по цифровому каналу с командного пункта, с других объектов или зачитывание карт контрольных операций, выполняемых в нормальных и отказных ситуациях. Это позволит снизить нагрузку на экипаж, облегчить ему работу в сложных условиях. Синтезатор речи сложнее СВР, так как должен создавать речевой сигнал сам.

Для этого необходим ряд дополнительных программных и аппаратных блоков. Тем не менее при

существующей элементной базе реально выполнить такой синтезатор в виде всего одного модуля, встраиваемого в какой-нибудь из блоков бортового оборудования.

Библиографический список

1. Основы инженерной психологии / Под ред. Б. Ф. Ломова. — М. : Высш. шк., 1986. — 448 с.
2. Кучерявый, А. А. Бортовые информационные системы : курс лекций / А. А. Кучерявый ; под ред. В. А. Мишина, Г. И. Ключева. — 2-е изд., перераб. и доп. — Ульяновск : УЛГТУ, 2004. — 504 с.
3. Авиационные приборы и системы / Г. И. Ключев [и др.]. — Ульяновск : УЛГТУ, 2000. — 343 с.
4. Танк Т-72А. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. В 2 кн. Кн. 2, ч. 2 / под ред. И. М. Голощапова. — М. : Воениздат, 1989. — 338 с.

ЧИКИРЕВ Олег Иванович, доцент военной кафедры.
ЛЕПЕШИНСКИЙ Игорь Юрьевич, кандидат педагогических наук, доцент (Россия), начальник военной кафедры.

КОСТИН Константин Владимирович, кандидат технических наук, доцент военной кафедры.

МУНИН Валерий Анатольевич, доцент учебного военного центра.

Адрес для переписки: kvkoston@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.11.2011 г.

© О. И. Чикирев, И. Ю. Лепешинский, К. В. Костин,
В. А. Мунин

Книжная полка

Старжинский, В. Е. Элементы привода приборов. Расчет, конструирование, технологии : учебное пособие / В. Е. Старжинский, Е. В. Шалобаев, С. В. Шилько. — Минск : Беларуская навука, 2012. — 769 с. — Гриф МО РФ. — ISBN 978-985-08-1429-6.

Рассмотрен широкий спектр вопросов проектирования объектов механического привода приборов. Описаны как традиционные методы расчета, конструирования и оптимизации элементов привода — зубчатых и фрикционных передач разных типов, подшипниковых опор, муфт, валов и осей, так и новые, современные концепции и подходы, обеспечивающие создание оригинальных конструкций узлов и деталей приборов и существенное улучшение служебных свойств механического привода. В частности, приведены методики проектирования зубчатых передач в системе обобщающих параметров и сведения о геометрии зубчатых зацеплений с асимметричным профилем зуба; обсуждаются вопросы автоматизации проектирования и моделирования передач, процессов их производства и функционирования; представлены новые решения в компоновке зубчатых и фрикционных эксцентриковых передач; изложены основы конструирования и технологии элементов привода микроэлектромеханических систем; приведены современные численные методы расчета на прочность и деформативность. Издание адресовано специалистам в области приборостроения и машиностроения и рекомендуется в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлениям и специальностям «Приборостроение», «Мехатроника и робототехника», «Микро- и наносистемная техника», «Технология приборостроения», «Конструкторско-технологическое обеспечение автоматизированных машиностроительных производств», «Динамика и прочность машин».

БИОИМПЕДАНСНАЯ ПОЛИЧАСТОТНАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ В ДИАГНОСТИКЕ НЕЙРОДЕРМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПАТОЛОГИЙ

В статье описаны результаты исследования биоэлектрических свойств тканей, имеющих нейродерматологические патологии, а также произведен сравнительный анализ различных стадий развития этих патологий у пациентов в сравнении с контрольной группой лиц, не имеющей нейродерматологических отклонений, а также выдвинута гипотеза о взаимосвязи показателей активной и реактивной составляющей электрического сопротивления ткани с течением нейродерматологических заболеваний.

Ключевые слова: биоимпедансные показатели живых тканей, диагностика нейрофизиологических патологий, неинвазивная диагностика, методы и устройства оценки показателей жизнедеятельности живых систем.

Важным свойством биологических тканей является зависимость их удельной проводимости и относительной диэлектрической проницаемости от частоты тока. В этом смысле принято говорить, что указанные электрические свойства биологических тканей обладают дисперсией [1]. Данные зависимости характеризуются наличием трёх различных механизмов релаксации (областей дисперсии), обозначаемых как α , β и γ . С точки зрения биоимпедансного анализа, наибольший интерес представляет область β -дисперсии, соответствующая частоте тока в интервале от 1 кГц до 1 МГц, так как частоты ниже 0,4–0,5 кГц не используются из-за эффекта электростимуляции тканей, а при значениях выше 0,5–1,0 МГц значительно усложняется техника измерений [2].

Удельное сопротивление биологических тканей, определяемое для заданной частоты тока, может существенно изменяться под влиянием физиологических и патофизиологических факторов: почки и лёгкие изменяют электропроводность при различном кровеносном и воздухонаполнении, мышечные ткани — при различной степени сокращения мышц, кровь и лимфа — при изменении концентрации белков и электролитов, очаги повреждения (по сравнению с нормальной тканью) — в результате отёков или ишемий различной природы, опухолей и других причин. Это позволяет использовать биоимпедансометрию для количественной оценки состояния органов и систем организма при различных заболеваниях, а также для выявления изменений в тканях, вызываемых лекарственными, ортостатическими, физическими и другими нагрузками [3].

Названия и обозначения величин, непосредственно измеряемых при биоимпедансометрии, заимствованы из теории электрических цепей переменного тока. Импедансом (Z) называют полное электрическое сопротивление тканей. Эта величина имеет две компоненты: активное (R) и реактивное сопротивление (X). Активное, или омическое, сопро-

тивление характеризует способность тканей к тепловому рассеянию электрического тока. Реактивное сопротивление характеризуется смещением фазы тока относительно напряжения за счёт ёмкостных свойств клеточных мембран, способных накапливать электрический заряд на своей поверхности [4]. Этот процесс практически не связан с выделением мощности. Чаще всего для биоимпедансометрической оценки состава тела применяются формулы, основанные на использовании активного сопротивления R . Эти формулы базируются на простом соотношении для электрического сопротивления однородного изотропного проводника постоянного сечения, поперечные размеры которого много меньше его длины:

$$R = \rho l / S = \rho l^2 / V,$$

где l — длина, S — площадь поперечного сечения, V — объём, а ρ — удельное сопротивление проводника. Проблема применения указанного соотношения к анализу живых систем состоит в том, что биологические ткани неоднородны по своему составу и обладают анизотропией. Например, проводимость мышц зависит от взаимной ориентации направления тока и мышечных волокон. Кроме того, площадь поперечного сечения тела вдоль направления зондирующего тока сильно варьирует в зонах, наиболее интересных для анализа. Важной характеристикой электрической проводимости тканей является отношение их ёмкостного и активного сопротивлений:

$$\operatorname{tg} \varphi = X C / R.$$

Величина φ в этом уравнении имеет название фазового угла, который характеризует сдвиг фазы переменного тока относительно напряжения. Полуокружность (график Коула — Коула) описывает теоретическую зависимость между активным и реак-

тивным сопротивлением тканей при изменении частоты тока f от 0 до $+\infty$. Верхняя точка полукривой соответствует максимальному значению реактивного сопротивления тканей и характеристической частоте тока [5]. Типичные значения ХС и R при измерении импеданса всего тела составляют 20–80 Ом и 200–800 Ом соответственно. Значения φ при частоте тока 50 кГц составляют в норме $7,6 \pm 1,0^\circ$ у мужчин и $6,9 \pm 1,3^\circ$ у женщин (пределы изменения от 3 до 10°). При увеличении частоты тока эта величина варьирует в более широких пределах [6]. Пониженные значения ХС связывают с нарушением диэлектрических свойств клеточных мембран и увеличением доли разрушенных клеток в организме. Наоборот, повышенные значения ёмкостного сопротивления отражают более высокое функциональное состояние клеточных мембран и, следовательно, самих клеток. Повышенные значения ХС отражают более высокое содержание активной клеточной массы.

Возможности биоимпедансометрии не исчерпываются оценкой интегральных показателей, относящихся ко всему организму. В диагностике многих заболеваний значительный интерес представляют параметры состава тканей отдельных регионов (конечностей, туловища, грудных желез) и локальных участков тканей, непосредственно прилегающих к коже и слизистым оболочкам. Известны работы, в которых приводятся результаты применения метода на коже, слизистой рта, носа, желудка, кишечника, влагалища. Получены верифицированные гистологическими методами результаты реакций на дегидратацию кожи моющими средствами, результаты оценки содержания подкожной жировой ткани, установлены биоэлектрические характеристики тканей при базальном клеточном раке и контактном дерматите. Метод биоимпедансной спектрометрии с успехом применялся для оценки состояния тканей пародонта [7], а также для оценки выраженности повреждений эпителия мочевого пузыря. Интересно, что полученные характеристики импеданса тканей эпителия при карциноме значительно отличались от данных, соответствующих воспалению.

В рамках проводимого исследования было разработано устройство, построенное на основе технологии биоимпедансной спектрометрии, обеспечивающее измерение и интерпретацию параметров комплексного импеданса живой системы в диапазоне частот от 10 Гц до 100 кГц более чем в 40 частотных точках [8, 9].

Оно представляет собой поличастотный биоимпедансный спектрометр «БС-1», обладающий достаточными функциональными возможностями для проведения биоимпедансных спектрометрических исследований.

Исследования проводились на базе учреждений здравоохранения г. Омска и Омской области (БУЗОО «Клинический кожно-венерологический диспансер», БУЗОО «Клинический диагностический центр», ФГУ ФМБА России «Западно-Сибирский медицинский центр») в период с 1 февраля 2012 по 31 мая 2012 года.

В качестве объекта исследований было подобрано две группы добровольцев: группу имеющих нейродерматологические патологии (хронический стабильный (вульгарный) псориаз) со схожей локализацией (поражены: кожа рук с различной концентрацией, область плечевого пояса, грудная клетка, поясница и частично область волосистой части головы) и симптоматикой, в составе 32 человек в возрасте от 25 до 45 лет, и группу не имеющих нейродерма-

тологических заболеваний в составе 10 человек в возрасте от 25 до 45 лет.

Измерения проводились с момента поступления больного вплоть до его выписки, с фиксацией динамики течения заболевания под действием лечебных мероприятий, а также с формированием анонимных карт-протоколов, содержащих данные исследований по каждому обследуемому.

В ходе исследований было установлено, что биоэлектроимпедансные характеристики пораженных областей значимо отличаются от этих характеристик тех же областей как у здоровых лиц, так и у лиц, имеющих нейродерматологические патологии, по ходу их лечения. При этом было также установлено, что показатели импеданса контрольных регионов (верхней части середины предплечья, внешней стороны кисти, а также в районе запястья) на спектре частот от 30 кГц до 80 кГц у большей части обследуемых объективно отличаются в зависимости от факта наличия нейродерматологических патологий, динамики течения заболевания и принимаемых лечебно-профилактических мер.

Измерения проводились в одинаковых условиях (незэкранированный кабинет наружной терапии, относительное положение измерительной аппаратуры и пациента фиксированное, работающие источники искажений и помех в месте измерений отсутствуют), обследуемый в положении сидя, руки на горизонтальной поверхности, электроды закреплены манжетами с фиксированным усилием на контрольных регионах, проводящие составы в местах крепления электродов не применяются, поверхность крепления электрода подготовлена к измерениям.

Сравнение показателей для различных категорий обследуемых представлено на рис. 1–4. (Частотный спектр измерений — от 1 кГц 100 кГц, верхний график — активная составляющая, нижний график — реактивная составляющая импеданса.)

По итогам систематизации и изучения результатов вышеописанных исследований было установлено, что показатели реактивной составляющей импеданса контрольных регионов организма человека, пораженного вульгарным псориазом, имеют тенденцию к отклонению в сторону увеличения ёмкостной составляющей, относительно условного эталона, взятого из показателя импеданса контрольных регионов у здоровых лиц.

Кожа человека и животных характеризуется морфологической и функциональной неоднородностью. Поверхностный слой кожи называется эпидермисом, состоящим из многослойного плоского ороговевающего эпителия, в котором постоянно происходит обновление и специфическая дифференцировка клеток — кератинизация. Под эпидермисом находится дерма, включающая сосочковый слой, образованный рыхлой волокнистой соединительной тканью, и сетчатый слой, образованный плотной неоформленной соединительной тканью. В большинстве участков кожи человека в ее сетчатом слое располагаются потовые и сальные железы, а также корни волос. Пучки коллагеновых волокон из сетчатого слоя дермы продолжают в слое подкожной клетчатки, сформированной, в основном, жировой тканью. Электропроводимость кожи определяется ее толщиной, наличием дериватов и содержанием воды, а также функциональным состоянием различных органов и организма в целом.

Согласно рефлекторной теории, между кожей и внутренними органами существуют взаимосвязи, известные как кожно-висцеральные и висцерокожно-

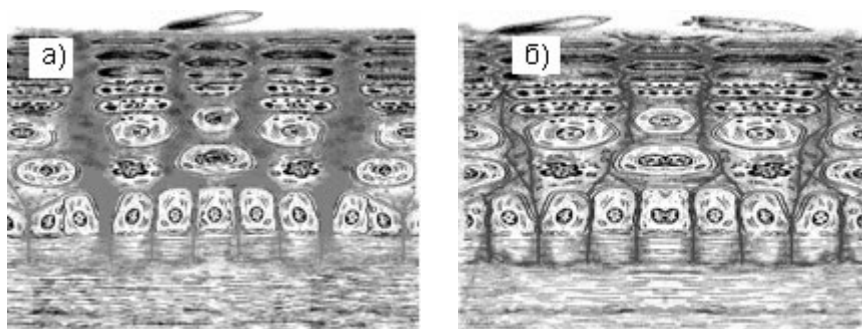


Рис. 1. Расширение межклеточного пространства при синдроме <полноты> сухожильно-мышечного канала (а) и сужение — при синдроме <пустоты> (б)

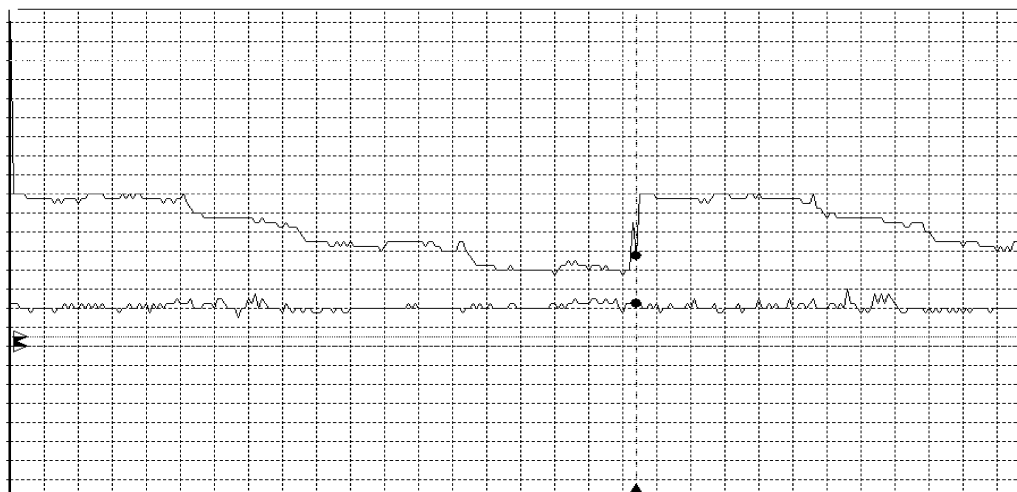


Рис. 2. Визуализация результатов измерений спектра биоимпеданса контрольных регионов у обследуемого, не имеющего нейродерматологических патологий

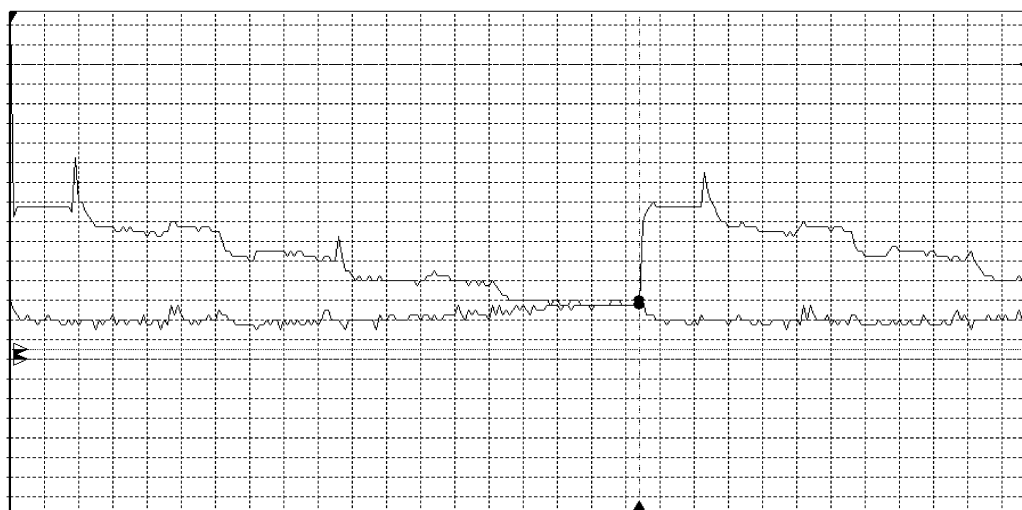


Рис. 3. Визуализация результатов измерений спектра биоимпеданса контрольных регионов у обследуемого, имеющего хронический стабильный (вульгарный) псориаз, сразу после поступления в стационар

ные рефлексы. Теория функциональных систем описывает более сложные механизмы взаимодействия между различными звеньями рефлекторных дуг [10]. Кроме того, взаимосвязь между органами и тканями тела реализуется посредством различных биологически активных веществ, клеточных элементов, продуктов метаболизма, электрических сигналов и т. д. Среди биофизических параметров кожи

можно выделить диффузную и локальную электрическую проводимость. Диффузная проводимость кожи, обусловлена проводящими свойствами межклеточных промежутков кожного эпителия. Этот вид проводимости зависит от влажности кожи и, соответственно, активности потовых желез [11].

При развитии заболевания снаружи формируется так называемый синдром полноты сухожильно-

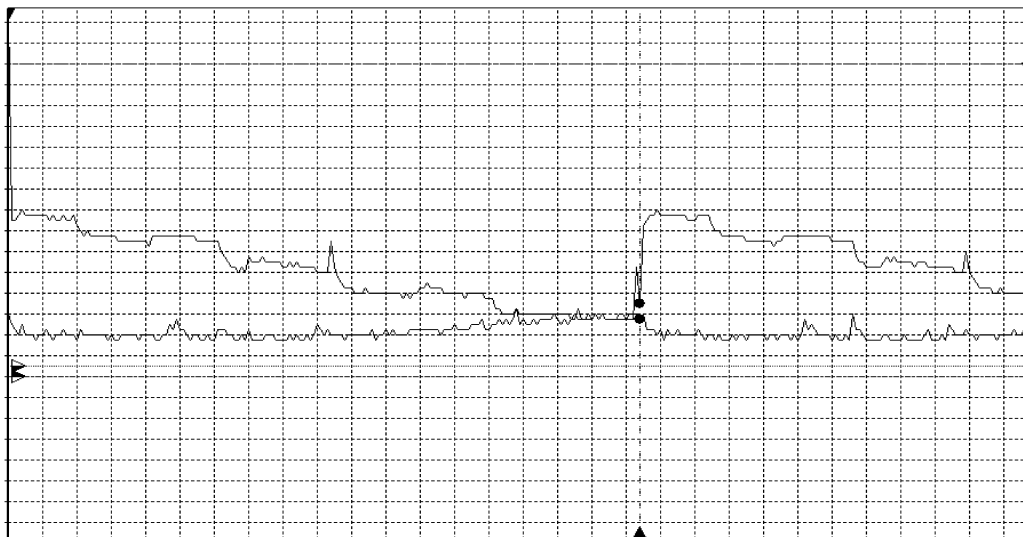


Рис. 4. Визуализация результатов измерений спектра биоимпеданса контрольных регионов у обследуемого, имеющего хронический стабильный (вульгарный) псориаз, в середине срока лечения в стационаре

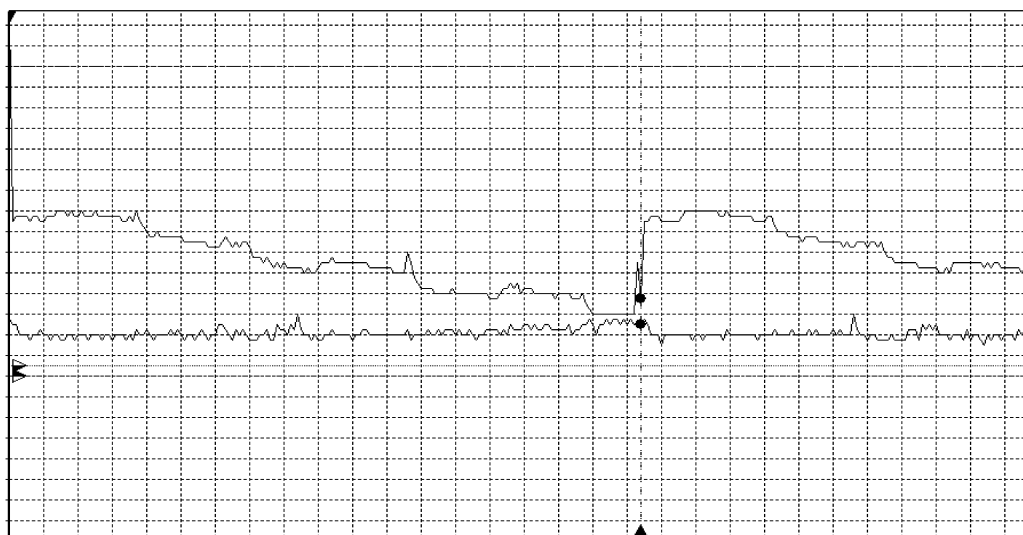


Рис. 5. Визуализация результатов измерений спектра биоимпеданса контрольных регионов у обследуемого, имеющего хронический стабильный (вульгарный) псориаз, при выписке из стационара

мышечного канала или кожной рефлексогенной зоны. Этот синдром характеризуется основными признаками острого воспаления, т.е. имеет место гиперемия, гипертермия, гиперестезия, отек и нарушение функции соответствующей конечности. В случае прогрессирования внешних заболеваний, формируется синдром пустоты сухожильно-мышечного канала или кожной рефлексогенной зоны. Этот синдром характеризуется признаками хронического воспаления и атрофии, т.е. имеет место бледность кожи, гипотермия, гипестезия, снижение тургора кожи и нарушение функции соответствующей конечности. Синдром полноты ТКМ соответствует гиперфункциональным рефлексогенным зонам, а синдром пустоты ТКМ соответствует гипофункциональным рефлексогенным зонам (рис. 1).

Сопротивление клеточной мембраны достаточно велико (особенно в кератоцитах) и во много раз превышает проводимость в микрощелях, имеющих между клетками. По-этому, можно предполагать, что

основной вклад в проводимость кожи (вне ТА) вносит проводимость межклеточных щелей. Сбалансированное взаимодействие между структурными и жидкостными компонентами дермы обеспечивает оптимальный уровень электрической проводимости [12].

При синдроме полноты (воспаление в фазе альтерации и экссудации) имеет место отек, выделение медиаторов воспаления и усиление микроциркуляции, что сопровождается расширением межклеточных промежутков и снижением кожного сопротивления (рис. 1а). При синдроме пустоты преобладают процессы атрофии, замещения нормальной ткани дермы соединительно-тканевыми компонентами, происходит нарушение микроциркуляции и повышение кожного сопротивления (рис. 1б) [13].

Согласно одной из гипотез [14], псориаз является первичным заболеванием кожи, при котором нарушается нормальный процесс созревания и дифференцировки клеток кожи и наблюдается избыточный рост и размножение (пролиферация) этих клеток.

При этом проблема псориаза видится сторонниками этой гипотезы как нарушение функции эпидермиса и его кератиноцитов. Аутоиммунная агрессия Т-лимфоцитов и макрофагов против клеток кожи, их инвазия в толщу кожи и избыточная пролиферация в коже при этом видятся как вторичные, как реакция организма на избыточное размножение «неправильных», незрелых, патологически изменённых кератиноцитов.

Полученные результаты (ускоренное снижение комплексного сопротивления оцениваемого региона у больного по сравнению со здоровым, а также повышение фазового угла или ёмкостной составляющей, начиная со средней части частотного диапазона) могут быть интерпретированы как диагностика процессов пролиферации неправильных, патологически изменённых кератиноцитов, при котором влияние увеличившихся как качественно, так и количественно клеточных мембран, приводит к возрастанию ёмкостной составляющей биоимпеданса в оцениваемом регионе.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о возможном наличии взаимосвязи динамики изменений как активных, так и реактивных составляющих показателей импеданса оцениваемых регионов организма человека с реальной динамикой течения заболеваний, обусловленных нейрофизиологическими патологиями. Измеряемые показатели косвенно отражают и результативность лечебно-профилактических мероприятий, позволяя делать выводы о целесообразности и эффективности этих мероприятий в каждом конкретном случае.

Иными словами, появляется возможность оперативного включенного мониторинга состояния пациента с возможностью заблаговременно корректировать ход лечения на основе выявленных изменений.

Библиографический список

1. B. J. Roth «The electrical conductivity of tissues» in Biomedical Engineering Handbook: 2nd Ed, J.D. Brozino, Ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000, ch.10, vol. 1.
2. C. Ward, B. H. Cornish. Multiple frequency bioelectrical impedance analysis how many frequencies to use? // Proceedings of the XII International Conference on electrical Impedance & V electrical Impedance Tomography. 20–24 June 2004. Gdansk, Poland, Vol.1, pp. 321–324.
3. S. Grimnes, O.G. Martinsen. Bioimpedance and bioelectricity basics. — Academic Press, 2000. — 360 pp.
4. Grimnes S., Martinsen O. G. Bioimpedance and bioelectricity basics. Amsterdam: Elsevier, 2008. 471p.
5. K.S. Cole: «Electrical impedance of suspensions of spheres» J. Gen. Physiol., vol.12, pp.29–36, April 1928.
6. Gabriel S., Lau R.W., Gabriel C. The dielectric properties of biological tissue: III. Parametric models for the dielectric spect-

rum of tissues // Phys. Med. Biol. 1996. V. 41, № 11. P. 2271–2293.

7. Московец, О. Н. Оценка состояния тканей пародонта методом биоимпедансной спектроскопии / О. Н. Московец, Д. В. Николаев // Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы: сб. тр. седьмой науч.-практ. конф., 23 марта 2005 г., М., 2005. — С. 67–69.

8. Пат. 97259 Российская Федерация, U1 Прибор для мониторинга гемодинамики / Кузнецов В. В., Клыпин Д. Н., Чернышев А. К., Кукота И. В. Патентообладатель ООО «Научно-техническая компания "Интеллектуальные комплексные системы"», ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет» (RU). Заявлено: 2009143229/22, 25.11.2009, Опубликовано: 10.09.2010 Бюл. № 25.

9. Пат. РФ № RU 97 915 U1 Устройство для функциональной диагностики / Кузнецов В. В., Клыпин Д. Н., Чернышев А. К.; Патентообладатель Клыпин Дмитрий Николаевич. Заявка: 2010117786/14, 06.05.2010, Опубликовано: 27.09.2010 Бюл. № 27.

10. HP Schawn: «Electrical properties of tissue and cells suspensions» Adv. Biol. Med. Phys., vol.5, pp.147–209, April 1957.

11. Fernando Seoane, Kaj Lindencrantz, Torsten Olsson, Ingemar Kjellmer Bioelectrical impedance during hypoxic cell swelling: modeling of tissue as a suspension of cells. Proc. XII Int. Conf. on Electrical Bio-Impedance, June 20–24, 2004, Gdansk, Poland, p.73–76.

12. B. H. Cornish, B. J. Tomst, L. C. Ward. Improved prediction of extracellular and total body water using impedance loci generated by multiple frequency bioelectrical impedance analysis. // Phys. Med. Biol. 38 (1993), pp. 337–346.

13. A. Ivorra, M. Genesca, G. Hotter, J. Aguilo. Bio-Impedance dispersion width as a parameter to monitor living cells. // Proceedings of the XII International Conference on electrical Impedance & V electrical Impedance Tomography. 20–24 June 2004. Gdansk, Poland, Vol. 1, pp. 87–90.

14. B. H. Brown, P. Milnes, S. Abdul, J. A. Tidy. Detection of cervical intra-epithelial neoplasia using impedance spectroscopy. // Proceedings of the XII International Conference on electrical Impedance & V electrical Impedance Tomography. 20–24 June 2004. Gdansk, Poland, Vol. 2, pp. 429–432.

КУЗНЕЦОВ Владимир Владимирович, аспирант кафедры «Материаловедение и технология конструкционных материалов», ассистент кафедры «Государственное, муниципальное управление и таможенное дело».

НОВИКОВ Алексей Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

Адрес для переписки: Mivladirvvk@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 20.09.2012 г.

© В. В. Кузнецов, А. А. Новиков

Книжная полка

Галимов, Э. Р. Материалы приборостроения : учеб. пособие для вузов / Э. Р. Галимов, А. С. Маминов, А. Г. Аблясова. — М. : КолосС, 2010. — 284 с. — Гриф УМО МО РФ. — ISBN 978-5-9532-0743-0.

Приводятся общие сведения о строении, составе, структуре, технологических, эксплуатационных и специальных свойствах широкого круга электротехнических, конструкционных и других видов материалов, используемых при разработке и эксплуатации приборов, автоматов и электронных устройств. Рассматриваются способы целенаправленного регулирования структуры и свойств материалов, а также методы переработки (обработки) с учетом их функционального назначения. Рекомендовано для подготовки бакалавров, магистров и дипломированных специалистов всех форм обучения по направлениям «Приборостроение», а также «Химическая технология высокомолекулярных соединений», «Материаловедение».