

УДК 615.47:616-072.7

## ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПОТООТДЕЛИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ КОЖИ ЧЕЛОВЕКА

А.М. ВОРОБЕЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 25 июня 2015*

Разработан диагностический аппаратно-программный комплекс, основанный на использовании емкостного датчика и адсорбирующего элемента и реализующий измерение и мониторинг количества выделенного человеком пота в норме и патологии (первичный гипергидроз).

*Ключевые слова:* аппаратно-программный комплекс, емкостной датчик, адсорбирующий элемент, потоотделение человека.

### Введение

Потоотделительные реакции в течение многих лет успешно используются в медицинской практике при диагностике ряда заболеваний, как правило, нервной системы [1]. В связи с этим измерение количества и контроль динамики потоотделения человека является актуальным вопросом в клинической практике и спортивной медицине.

В настоящее время наиболее распространенным электрическим методом оценки потоотделения человека является метод импедансометрии (основанный на измерении полного электрического сопротивления кожи) [2]. Рядом преимуществ по сравнению с импедансометрией обладает емкостной метод (основанный на измерении электрической емкости кожи): отсутствие гальванического тока и поляризационных эффектов, независимость результатов измерений от химического состава кожи [3]. При этом все вышеуказанные методы не позволяют осуществлять накопление влаги (выделяемого пота) в течение определенного промежутка времени, что является необходимым при оценке потоотделения человека в динамике. Для устранения данного недостатка целесообразно дополнительно использовать материал, максимально сорбирующий пот с поверхности кожи. При этом анализ существующих сорбционных материалов показал, что целлюлоза и, соответственно, изготавливаемая на ее основе фильтровальная бумага обладают высокими впитывающими свойствами [4]. Использование емкостного датчика и адсорбирующего элемента на основе целлюлозы решает задачу повышения эффективности количественной оценки потоотделения человека, однако требует проведения дополнительных исследований (моделирования и экспериментальной верификации) для определения структуры и размеров электродов емкостного датчика (оптимальных с точки зрения достижения наибольшей чувствительности).

В данной работе предложено разработать аппаратно-программный комплекс на основе использования емкостного датчика и адсорбирующего элемента с целью повышения информативности количественной оценки потоотделения человека в норме и при патологии (первичный гипергидроз).

## Моделирование и экспериментальная верификация емкостного датчика количественной оценки потоотделения человека

По результатам проведенного моделирования в программной среде COMSOL Multiphysics, представленных в работах [5, 6], в промышленных условиях изготовлен типоразмер 640x7000 емкостного датчика встречно-штыревой структуры электродов с целью проведения исследований по его экспериментальной верификации.

При проведении исследований по экспериментальной верификации для регистрации электрической емкости системы «емкостной датчик + адсорбирующий элемент» использовался аппаратно-программный комплекс на базе промышленного прибора (измерителя иммитанса E7-20) (рис.1), а в качестве адсорбирующего элемента – бумага фильтровальная лабораторная по ГОСТ 12026-76 (плотностью 85 г/м<sup>2</sup> и толщиной 190 мкм).



Рис. 1. Аппаратно-программный комплекс на основе промышленного прибора (измерителя иммитанса E7-20) для проведения исследований по экспериментальной верификации

По результатам проведенного экспериментального исследования глубина проникновения электрического поля в адсорбирующий элемент составила 140 мкм. По результатам моделирования в программной среде COMSOL Multiphysics – 135 мкм. Отклонение экспериментальных данных от результатов моделирования по оценке глубины проникновения электрического поля в адсорбирующий элемент составило 3,7 %.

Отклонение экспериментальных данных от результатов моделирования по оценке абсолютного приращения электрической емкости датчика в зависимости от влагосодержания адсорбирующего элемента, смоченного физиологическим раствором, составило соответственно 13,6 %. Влагосодержание адсорбирующего элемента  $Влсод_{0-100\%}$  определяется в соответствии с выражением:

$$Влсод_{0-100\%} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \text{ где } m_1 - \text{масса пропитанного адсорбирующего элемента;}$$

$m_0$  – масса сухого адсорбирующего элемента.

Таким образом, проведенная экспериментальная верификация подтвердила адекватность компьютерной модели системы «емкостной датчик + адсорбирующий элемент».

Результатом экспериментальной верификации является градуировочный график зависимости абсолютного приращения электрической емкости датчика ( $\Delta C$ ) от влагосодержания адсорбирующего элемента ( $Влсод_{0-100\%}$ ) для количественной оценки потоотделения человека, представленный на рис. 2.

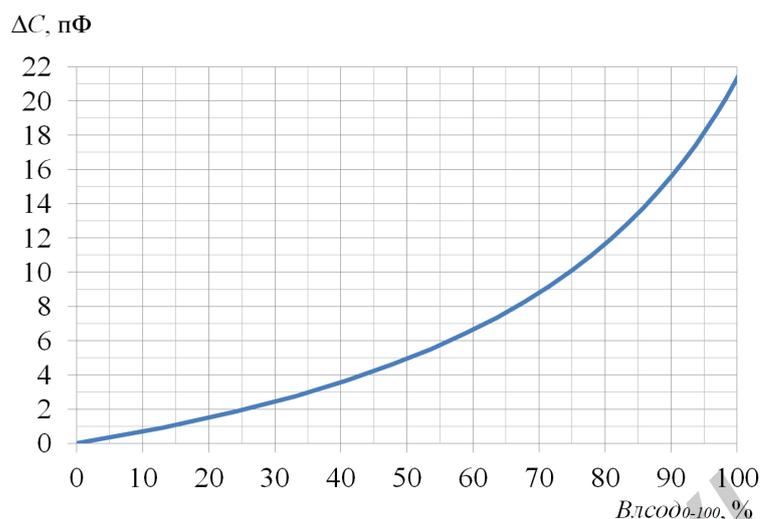


Рис. 2. Градуировочный график зависимости абсолютного приращения электрической емкости от влагосодержания адсорбирующего элемента для количественной оценки потоотделения человека

### Разработка диагностического аппаратно-программного комплекса количественной оценки потоотделения человека на основе емкостного датчика и адсорбирующего элемента

Диагностический аппаратно-программный комплекс (АПК) количественной оценки потоотделения человека содержит портативное устройство для регистрации электрической емкости системы «емкостной датчик + адсорбирующий элемент» и аппаратно-программный модуль обработки и визуализации результатов диагностики на базе персонального компьютера (ноутбука или планшета) (рис. 3). Соединение портативного устройства и аппаратно-программного модуля осуществляется через канал связи Bluetooth.

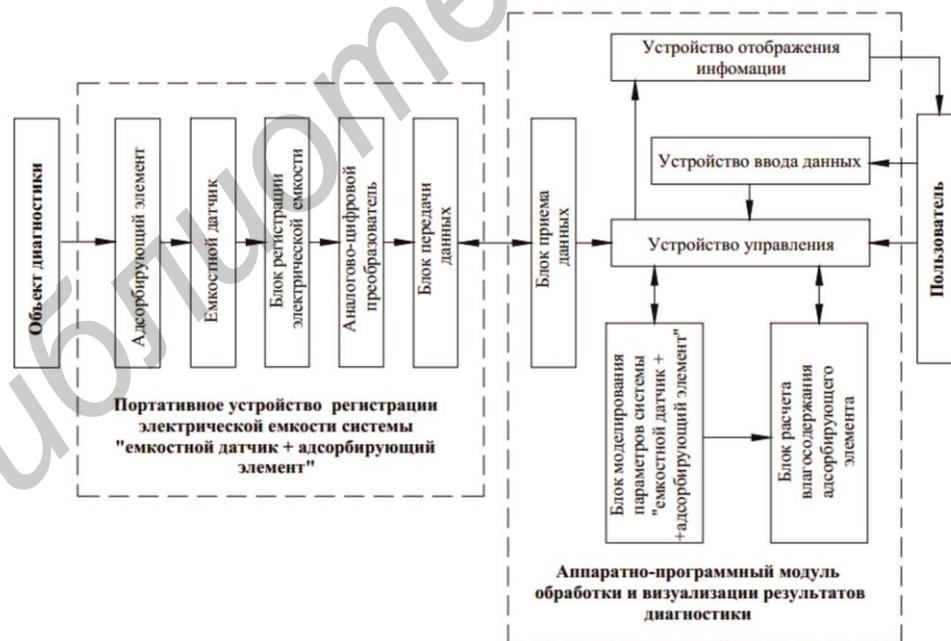


Рис. 3. Схема диагностического аппаратно-программного комплекса количественной оценки потоотделения человека

Составляющими портативного устройства для регистрации электрической емкости системы «емкостной датчик + адсорбирующий элемент» являются:

- емкостной датчик;
- адсорбирующий элемент;

- блок регистрации электрической емкости системы «емкостной датчик + адсорбирующий элемент»;
- аналогово-цифровой преобразователь;
- блок передачи данных.

Аппаратно-программный модуль обработки и визуализации результатов диагностики включает следующие блоки:

- блок приема данных;
- устройство управления;
- блок моделирования параметров системы «емкостной датчик + адсорбирующий элемент»;
- блок расчета влагосодержания адсорбирующего элемента;
- устройство отображения информации;
- устройство ввода данных.

Предусмотрено два режима работы диагностического аппаратно-программного комплекса.

1. Режим измерения потоотделения, реализующий методику измерения (рис. 4, *a*) количества пота, выделенного человеком за заданный промежуток времени.

2. Режим мониторинга потоотделения, реализующий методику контроля динамики (рис. 4, *б*) потоотделения человека в течение заданного промежутка времени.

Диагностический аппаратно-программный комплекс работает следующим образом. В начале диагностического обследования происходит закрепление портативного устройства на исследуемом участке кожи человека. Далее осуществляется выбор режима диагностики.

В режиме измерения потоотделения аппаратно-программный комплекс работает в следующей последовательности.

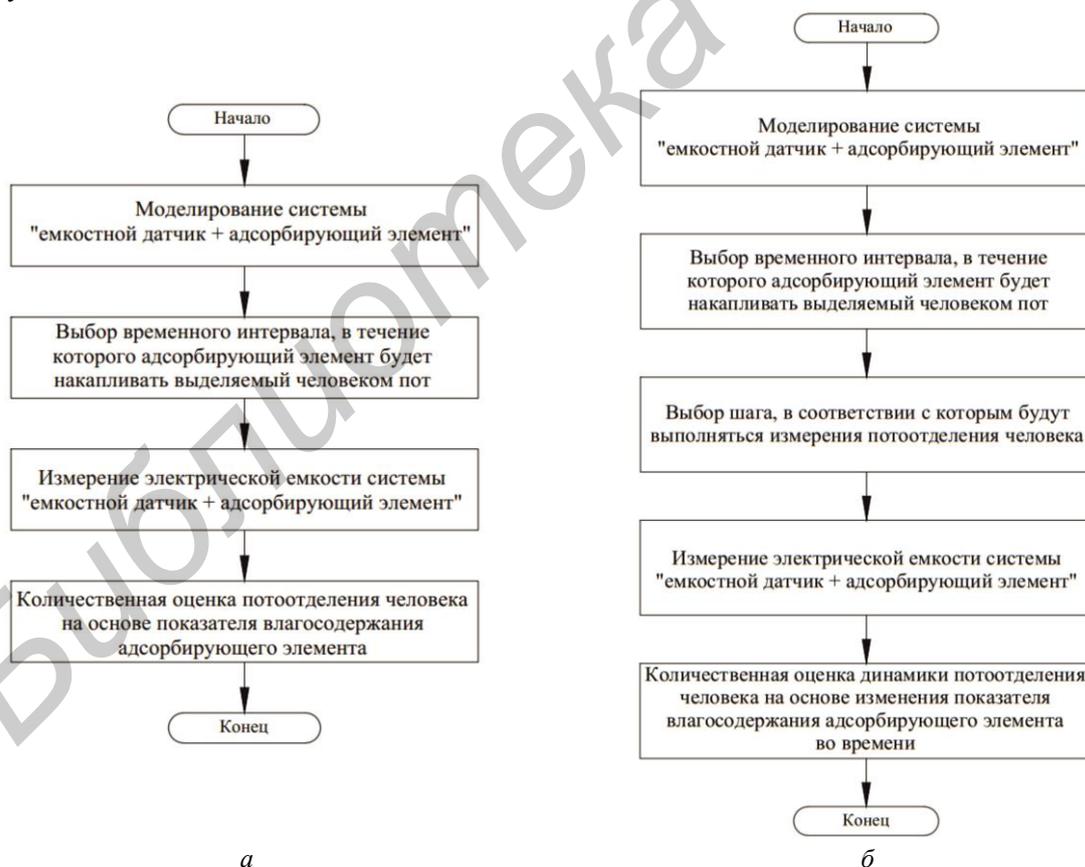


Рис. 4. Методика измерения (*a*) и методика контроля динамики (*б*) потоотделения человека

Пользователь (врач) посредством устройства ввода данных осуществляет выбор стандартных параметров емкостного датчика (типоразмера 640×7000 встречно-штыревой структуры электродов) и адсорбирующего элемента (на основе целлюлозы плотностью 85 г/м<sup>2</sup> и толщиной 190 мкм) либо новых параметров емкостного датчика и адсорбирующего элемента.

В случае использования стандартных параметров системы «емкостной датчик + адсорбирующий элемент» производится выбор временного интервала ( $T$ ), в течение которого адсорбирующий элемент будет накапливать выделяемый человеком пот. Далее происходит измерение электрической емкости сухого адсорбирующего элемента ( $C_0$ ) с последующим преобразованием данного сигнала из аналоговой в цифровую форму и сохранением в устройстве управления. После этого осуществляется накопление адсорбирующим элементом выделяемого человеком пота в течение заданного временного интервала.

По истечении заданного промежутка времени ( $T$ ) производится измерение электрической емкости пропитанного адсорбирующего элемента ( $C_1$ ) и преобразование данного сигнала с помощью аналогово-цифрового преобразователя с последующей передачей в устройство управления. В устройстве управления по зарегистрированным значениям электрической емкости сухого ( $C_0$ ) и пропитанного ( $C_1$ ) адсорбирующего элемента осуществляется расчет абсолютного приращения электрической емкости ( $\Delta C$ ) в соответствии с формулой:  $\Delta C = C_1 - C_0$ .

Рассчитанное значение  $\Delta C$  передается в блок расчета влагосодержания адсорбирующего элемента, где в соответствии с величиной  $\Delta C$  определяется показатель влагосодержания адсорбирующего элемента  $Влсод_{0-100\%}$ . Взаимосвязь абсолютного приращения электрической емкости и влагосодержания адсорбирующего элемента установлена в результате проведенной экспериментальной верификации типоразмера  $640 \times 7000$  емкостного датчика встречно-штыревой структуры электродов и выражается градуировочным графиком ( $\Delta C = f(Влсод_{0-100\%})$ ), представленным на рис. 2. Далее полученное значение  $Влсод_{0-100\%}$  выводится на устройство отображения информации. Влагосодержание адсорбирующего элемента служит количественным критерием потоотделения человека: чем выше данный показатель, тем больше пота впитал адсорбирующий элемент за заданный промежуток времени. В случае перенасыщения адсорбирующего элемента потом раньше, чем истечет времени диагностики, на блок отображения информации устройством управления выдается сообщение о перенасыщении адсорбирующего элемента и его замене.

Аппаратно-программный комплекс, работающий в режиме измерения потоотделения, может быть использован для диагностики первичного гипергидроза с целью повышения эффективности отбора пациентов для оперативного лечения данного заболевания.

В режиме мониторинга потоотделения диагностический аппаратно-программный комплекс работает следующим образом. Пользователь (врач) посредством устройства ввода данных осуществляет выбор использования стандартных либо новых параметров емкостного датчика и адсорбирующего элемента. В случае использования стандартных параметров системы «емкостной датчик + адсорбирующий элемент» производится выбор временного интервала ( $T$ ), в течение которого будет выполняться мониторинг потоотделения, а также выбор шага ( $\Delta t$ ), в соответствии с которым будут выполняться измерения потоотделения человека. Далее происходит измерение электрической емкости сухого адсорбирующего элемента ( $C_0$ ) с последующим преобразованием данного сигнала из аналоговой в цифровую форму и сохранением в устройстве управления. После этого осуществляется накопление адсорбирующим элементом выделяемого человеком пота в течение заданного шага  $\Delta t$ .

По истечении заданного шага ( $\Delta t$ ) производится измерение электрической емкости пропитанного адсорбирующего элемента ( $C_i$ ) и преобразование данного сигнала с помощью аналогово-цифрового преобразователя с последующей передачей в устройство управления. В устройстве управления по зарегистрированным значениям электрической емкости сухого ( $C_0$ ) и пропитанного ( $C_i$ ) адсорбирующего элемента осуществляется расчет абсолютного приращения электрической емкости ( $\Delta C_i$ ) в соответствии с формулой:  $\Delta C_i = C_i - C_0$ .

Рассчитанное значение  $\Delta C_i$  передается в блок расчета влагосодержания адсорбирующего элемента, где в соответствии с величиной  $\Delta C_i$  определяется показатель влагосодержания адсорбирующего элемента  $Влсод_{0-100\%}$  (в соответствии с градуировочным

графиком, представленным на рис. 2. Далее полученное значение  $Влсод_{0-100\%,i}$  выводится на устройство отображения информации. В дальнейшем производится реализация цикла измерения потоотделения человека по вышепредставленной схеме  $n = \frac{T}{\Delta t}$  раз.

Количественная оценка динамики потоотделения человека осуществляется на основе изменения показателя влагосодержания адсорбирующего элемента во времени ( $Влсод_{0-100\%} = f(T)$ ). Данная зависимость выводится на устройство отображения информации в реальном режиме времени, тем самым обеспечивая возможность графической визуализации динамики потоотделения человека. В случае перенасыщения адсорбирующего элемента потом раньше, чем истечет времени мониторинга потоотделения, на блок отображения информации устройством управления выдается сообщение о перенасыщении адсорбирующего элемента и его замене.

Аппаратно-программный комплекс, работающий в режиме мониторинга потоотделения, может быть использован с целью проведения экспресс-оценки исходного уровня и динамики потоотделительной функции кожи человека для разработки индивидуального плана физических тренировок и занятий по лечебной физкультуре.

В случае использования новых параметров емкостного датчика и адсорбирующего элемента в схеме АПК (рис. 1) предусмотрен блок моделирования параметров системы «емкостной датчик + адсорбирующий элемент». В данном случае диагностический аппаратно-программный комплекс (как в режиме измерения, так и в режиме мониторинга) работает следующим образом.

Пользователь (врач) посредством устройства ввода данных задает следующие параметры моделируемой системы «емкостной датчик + адсорбирующий элемент»:

- материал, конфигурацию и геометрические размеры подложки и электродов датчика;
- материал и толщину диэлектрического покрытия датчика;
- материал, площадь и толщину адсорбирующего элемента.

Далее в блоке моделирования осуществляются построение и расчет электрических параметров компьютерной модели системы «емкостной датчик + адсорбирующий элемент», после чего в блоке расчета влагосодержания адсорбирующего элемента производится построение зависимости абсолютного приращения электрической емкости адсорбирующего элемента от содержания в нем влаги (нового градуировочного графика зависимости  $\Delta C = f(Влсод_{0-100\%})$ ). После этапа моделирования процедура по количественной оценке потоотделения человека выполняется в той же последовательности, что и в случае с использованием стандартных параметров емкостного датчика и адсорбирующего элемента.

При проведении повторных процедур по измерению и контролю динамики потоотделения человека предоставление сохраненных результатов выполняется посредством вывода на устройство отображения информации первоначальных показателей, хранящейся в устройстве управления.

### **Заключение**

Разработанный диагностический аппаратно-программный комплекс, основанный на использовании емкостного датчика и адсорбирующего элемента и реализующий компьютерное моделирование параметров системы «емкостной датчик + адсорбирующий элемент», предназначен для диагностики первичного гипергидроза с целью повышения эффективности отбора пациентов для оперативного лечения данного заболевания, а также для мониторинга потоотделения человека с целью проведения экспресс-оценки исходного уровня и динамики потоотделительной функции кожи человека для разработки индивидуального плана физических тренировок и занятий по лечебной физкультуре. Данная работа включает новые научно обоснованные результаты, которые решают важную научную задачу разработки аппаратно-программных средств на основе использования электрических методов, реализующих количественную оценку потоотделения человека.

# HARDWARE-AND-SOFTWARE DIAGNOSTICS SYSTEM FOR QUANTITATIVE EVALUATION OF HUMAN SKIN PERSPIRATION FUNCTION

A.M. VOROBEL

## Abstract

Capacitive transducer/adsorption element based on hardware-and-software diagnostics system that implements human perspiration measurement and monitoring under normal and pathological conditions (primary hyperhidrosis) is designed.

## Список литературы

1. *Панкратов В.Г.* Дерматология. Минск, 2012.
2. *Владимиров Ю.А.* Биофизика. М., 1983.
3. *Courage W.* Hardware and measuring principle: corneometer. Florida, 1994.
4. *Азаров В.И., Бузов А.В., Оболенская А.В.* Химия древесины и синтетических полимеров. СПб., 1999.
5. *Воробей А.М., Рымарев Д.В., Давыдов М.В. и др.* // Вест. ПГУ. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2012. № 11. С. 50–55.
6. *Воробей А.М.* // Матер. XIX МНТК «Современные средства связи-2014». Минск, 14–15 окт. 2014 г. С. 80–82.