

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 616-072.7:616.56-008.811.1

СТАСИШИНА  
Анна Михайловна

**СРЕДСТВА ВЕРИФИКАЦИИ ПЕРВИЧНОГО ГИПЕРГИДРОЗА  
НА ОСНОВЕ ЕМКОСТНОГО ДАТЧИКА С ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ  
АДСОРБИРУЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ**

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского  
назначения

Минск 2015

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» и ООО «ЛОДЭ».

Научные руководители: **Стебунов Сергей Степанович**, доктор медицинских наук, профессор, врач-хирург ООО «ЛОДЭ»

**Давыдов Максим Викторович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Мухуров Николай Иванович**, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией микроэлектроники, механики и сенсорики государственного научного учреждения «Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси»

**Драпеза Александр Иванович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий НИЛ биоаналитических систем Белорусского государственного университета

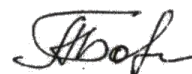
Оппонирующая организация: Белорусский национальный технический университет

Защита состоится «21» января 2016 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220113, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан «18» декабря 2015 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций, кандидат технических наук, доцент



А.А. Борискевич

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Первичный гипергидроз представляет собой постоянное повышенное потоотделение человека, которым по статистике страдает 1–2 % мирового населения. Эффективным способом лечения данного заболевания является хирургическое (оперативное) вмешательство, которое назначается пациентам с соответствующими медицинскими показаниями при условии, что другие методы консервативного лечения (психотерапевтические, медикаментозные, физиотерапевтические и др.) не приносят желаемого результата.

Общепринятыми методами диагностики первичного гипергидроза являются колориметрические и гравиметрические методы, результативность использования которых зависит от опыта и квалификации врача. В связи с этим актуальной является задача совершенствования технических средств, повышающих точность количественной оценки потоотделения человека.

В настоящее время наиболее распространенным методом оценки потоотделения человека является метод импедансометрии (измерение полного электрического сопротивления кожных покровов), однако результаты применения данного метода зависят от анатомо-физиологических особенностей строения кожи человека, которые влияют на объективность получаемых результатов измерений. Рядом преимуществ по сравнению с импедансометрией обладает емкостный метод (основанный на измерении электрической емкости кожных покровов): отсутствие гальванического тока, поляризационных эффектов, независимость результатов измерений от составных компонентов кожи. При этом все вышеуказанные методы не позволяют осуществлять контроль накопления выделяемого пота в течение определенного промежутка времени, что является необходимым для количественной оценки интенсивности первичного гипергидроза.

С целью повышения эффективности количественной верификации первичного гипергидроза в работе предлагается использовать емкостный датчик с чувствительным адсорбирующим элементом. Для этого потребовалось провести исследования по определению конструкции емкостного датчика (оптимальной с точки зрения достижения большей чувствительности по сравнению с известными конструкциями и с глубиной проникновения электрического поля, не превышающей толщины адсорбирующего элемента) и установить количественные диагностические показатели потоотделения человека (в норме и при патологии). Это в итоге позволило разработать структурную схему аппаратно-программного комплекса для количественной оценки и мониторинга потоотделения человека, предназначенного для использования в клинической и спортивной медицине с целью улучшения диагностики первичного гипергидроза и для экспресс-оценки уровня физической подготовленности человека. Таким образом, тема диссертационной работы представляется актуальной и своевременной.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Связь работы с научными программами (проектами), темами

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 39-О от 02.02.2011 г.) и соответствует разделу 4 «Лечебные, диагностические, профилактические и реабилитационные технологии, клеточные и молекулярно-биологические технологии в медицине, аппараты и приборы медицинского назначения» Перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585).

Диссертационная работа выполнена в двух организациях: учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» и ООО «ЛОДЭ» в рамках следующих заданий республиканских научно-технических программ: ГПНИ «Медицина и фармация», задание 1.1.48 «Разработка алгоритмов и технических систем диагностики гипергидроза на базе импедансных и емкостных методов измерения влажности кожи» (2014–2015 гг., № ГР 20143845); ГБЦ № 11-2020 «Материалы, технологические процессы и устройства радиоэлектронной, электронно-оптической и медицинской техники» (2011–2014 гг., № ГР 20120381).

### Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является усовершенствование технических средств для верификации первичного гипергидроза путем использования емкостного датчика с чувствительным адсорбирующим элементом для определения величины электрической емкости адсорбирующего элемента при различном содержании в нем влаги в зависимости от задаваемых параметров емкостного датчика и адсорбирующего элемента и обеспечения количественной оценки и мониторинга процесса потоотделения человека.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

1. Обосновать выбор сорбционных материалов для количественной оценки потоотделения человека.

2. Провести математическое моделирование системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» для определения величины электрической емкости адсорбирующего элемента при различном содержании в нем влаги в зависимости от задаваемых параметров емкостного датчика и

адсорбирующего элемента (относительной диэлектрической проницаемости и удельной проводимости датчика (подложки, электродов чувствительного элемента и диэлектрического покрытия) и адсорбирующего элемента, конструкции датчика, толщины диэлектрического покрытия датчика, геометрических размеров адсорбирующего элемента).

3. Обосновать выбор конструкции (структуры и геометрических размеров электродов чувствительного элемента) емкостного датчика, оптимальной с точки зрения достижения наибольшей чувствительности и с глубиной проникновения электрического поля, не превышающей толщины адсорбирующего элемента, при условии совместного использования с адсорбирующим элементом в виде пластины из целлюлозы.

4. Провести экспериментальную верификацию системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент», обосновать использование показателя влагосодержания адсорбирующего элемента для оценки интенсивности процесса потоотделения человека в норме и при патологии (первичный гипергидроз) и разработать методику количественной оценки и контроля процесса потоотделения человека.

5. Разработать структурную схему аппаратно-программного комплекса верификации интенсивности первичного гипергидроза на основе контроля показателя влагосодержания адсорбирующего элемента и обработки получаемых результатов при различных вариантах системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» для использования в клинической и спортивной медицине.

### **Научная новизна**

1. Теоретически установлена и экспериментально подтверждена экспоненциальная зависимость величины электрической емкости датчика со встречно-штыревой структурой электродов чувствительного элемента (при воздействии переменных электрических тока частотой 1 МГц и напряжения 1 В), на котором располагается адсорбирующий элемент в виде пластины из целлюлозы (толщиной  $190 \pm 8$  мкм, относительной диэлектрической проницаемостью  $3,8 \pm 0,2$  и удельной проводимостью  $10^{-13} - 10^{-14}$  См/м), от изменения влагосодержания такого адсорбирующего элемента.

2. Экспериментально обосновано введение показателя влагосодержания адсорбирующего элемента, используемого для накопления влаги совместно с емкостным датчиком, в качестве количественного критерия для более точного (от 30 % у существующих конструкций датчиков до более 90 % у предложенной системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент») определения интенсивности процесса потоотделения человека в норме и при

патологии (первичный гипергидроз) за счет большего количества накапливаемой адсорбирующим элементом влаги в процессе потоотделения.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Имитационная модель системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» для верификации первичного гипергидроза, учитывающая параметры емкостного датчика и адсорбирующего элемента (относительной диэлектрической проницаемости и удельной проводимости датчика (подложки, электродов чувствительного элемента и диэлектрического покрытия) и адсорбирующего элемента, конструкции датчика, толщины диэлектрического покрытия датчика, геометрических размеров адсорбирующего элемента), что позволяет определять в качестве показателя первичного гипергидроза значение влагосодержания адсорбирующего элемента на основе расчета его электрической емкости.

2. Введение адсорбирующего элемента в виде пластины из целлюлозы (толщиной  $190 \pm 8$  мкм, относительной диэлектрической проницаемостью  $3,8 \pm 0,2$  и удельной проводимостью  $10^{-13} - 10^{-14}$  См/м) в качестве накопителя (поглотителя) влаги при совместном использовании емкостного датчика со встречно-штыревой структурой электродов чувствительного элемента позволило существенно (более чем в 2 раза) уменьшить влияние анатомо-физиологических особенностей строения кожи человека на результаты измерений за счет исключения непосредственного контакта разработанного емкостного датчика с кожей.

3. Экспериментально установленное увеличение (более чем в 2 раза) величины влагосодержания адсорбирующего элемента в виде пластины из целлюлозы при количественной оценке интенсивности первичного гипергидроза позволило осуществить отбор пациентов для хирургического (оперативного) лечения данного заболевания.

### **Личный вклад соискателя ученой степени**

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Определение цели и задач исследований, интерпретация и обобщение научных результатов проводились совместно с научными руководителями доктором медицинских наук, профессором С.С. Стебуновым и кандидатом технических наук, доцентом М.В. Давыдовым. Основными соавторами опубликованных работ являются доктор медицинских наук, профессор С.С. Стебунов, кандидат технических наук, доцент М.В. Давыдов, Д.В. Рымарев. Д.В. Рымарев принимал участие в обсуждении

имитационной модели системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент».

### **Апробация результатов диссертации и информация об использовании ее результатов**

Результаты исследований докладывались на следующих конференциях: «Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2011» (Przemyśl, Polska, 2011); «Приборостроение – 2012» (Минск, Беларусь, 2012); «Сигнальные механизмы регуляции физиологических функций» (Минск, Беларусь, 2012); 9-я Международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций» (Севастополь, Украина, 2013); «Технологии обработки оптических элементов и нанесения вакуумных покрытий (Минск, Беларусь, 2013); «Современные средства связи» (Минск, Беларусь, 2014); «Молодежь в науке – 2014» (Минск, Беларусь, 2014); VII и VIII Международная научно-техническая конференция «Медэлектроника. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии» (Минск, Беларусь, 2012, 2014); Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ–БГУИР (Минск, БГУИР, 2014); «The Youth of 21st Century: Education, Science, Innovations» (Vitebsk, Belarus, 2014); на бирже деловых контактов «Ярмарка инновационных разработок» по теме «Инновационные технологии в медицинской технике» (Минск, Беларусь, 2014).

Результаты диссертационной работы использованы: для диагностики первичного гипергидроза на базе ООО «ЛОДЭ»; для диагностики потоотделения человека при физических нагрузках на базе УП «Санаторий «Криница», а также используются в учебном процессе БГУИР при чтении курсов по специальности «Медицинская электроника», БНТУ при чтении курсов по специальности «Биотехнические и медицинские аппараты и системы», и БелМАПО при чтении курсов по специальности «Клиническая лабораторная диагностика».

### **Опубликование результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 17 печатных работ, в том числе 7 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертационных исследований, 7 статей в сборниках научных статей и материалов конференций, 3 тезиса докладов. Без соавторов опубликована 1 работа в научном журнале. Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий в Республике Беларусь, составляет 2,54 авторского листа.

## Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и трех приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 157 страниц, включая 79 страниц машинописного текста, 41 иллюстрацию на 23 страницах, 16 таблиц на 6 страницах, список использованных источников из 187 наименований на 13 страницах, 17 собственных публикаций автора на 3 страницах, 2 приложения на 33 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во **введении** и **общей характеристике** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, их научная новизна, приведены сведения об апробации и опубликовании основных результатов диссертации.

В **первой главе** отражены физиологические аспекты потоотделения человека: функции и виды патологий потовых желез. Рассмотрены методы и технические средства оценки потоотделения человека и диагностики первичного гипергидроза. Показано, что самыми распространенными методами диагностики первичного гипергидроза являются колориметрические (основанные на изменении окраски применяемого вещества при его увлажнении), гравиметрические (основанные на сорбции пота при помощи фильтровальной бумаги при последующем взвешивании ее на весах высокой точности) и электрические (основанные на изменении электрического сопротивления кожи в процессе потоотделения). При этом эффективность использования колориметрических и гравиметрических методов при диагностике первичного гипергидроза зависит от опыта и квалификации врача, а использование метода импедансометрии требует учета ряда факторов, влияющих на результаты измерений: электролитный и биохимический состав межклеточной и внутриклеточной жидкостей, толщина рогового слоя эпидермиса, сеть капилляров в дерме и их кровенаполнение, распределение активных точек кожи, ее состояние во время измерений и др. Рядом преимуществ по сравнению с импедансометрией обладает емкостный метод (основанный на измерении электрической емкости кожных покровов): отсутствие гальванического тока и поляризационных эффектов, независимость результатов измерений от структуры и химического состава кожи. Проведенный анализ литературных данных показывает, что все вышеуказанные методы не позволяют осуществлять контроль накопления влаги (выделяемого пота) в течение определенного промежутка времени, что является



необходимым для количественной оценки интенсивности первичного гипергидроза. Для устранения данного недостатка целесообразно дополнительно использовать материал, максимально сорбирующий пот с поверхности кожи. Использование емкостного датчика совместно с чувствительным адсорбирующим элементом решает задачу повышения эффективности количественной верификации первичного гипергидроза, однако требует проведения дополнительных исследований (моделирования и экспериментальной верификации) для определения конструкции емкостного датчика (оптимальной с точки зрения достижения большей чувствительности по сравнению с известными конструкциями и с глубиной проникновения электрического поля, не превышающей толщины адсорбирующего элемента), а также для выявления количественных диагностических показателей потоотделения человека в норме и при патологии (первичный гипергидроз).

Во **второй главе** обоснован выбор адсорбирующего элемента на основе бумаги в качестве основного чувствительного сорбирующего пот человека материала.

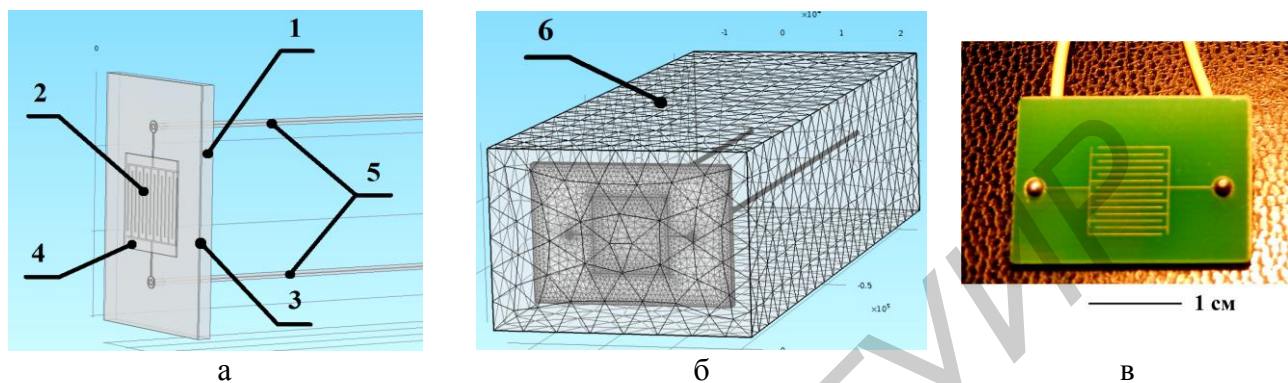
Представлены результаты моделирования и экспериментальной верификации системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» в количественной оценке потоотделения человека:

1. В программной среде COMSOL Multiphysics создана имитационная модель системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» (рисунок 1, а, б), включающая шесть областей: подложку, электроды чувствительного элемента, вывод с диэлектрической изоляцией, слой диэлектрика, адсорбирующий элемент и воздушную прослойку. Модель позволяет определять следующие электрические параметры в зависимости от структуры и геометрических размеров электродов чувствительного элемента емкостного датчика: 1) напряженность электрического поля, возникающего в результате прохождения переменных электрических тока частотой 1 МГц и напряжения 1 В между электродами чувствительного элемента датчика; 2) глубину проникновения электрического поля (расстояние, на котором напряженность электрического поля уменьшается в  $e$  раз) в адсорбирующий элемент толщиной  $190 \pm 8$  мкм; 3) зависимость электрической емкости системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» от изменения влагосодержания адсорбирующего элемента. Изменение влагосодержания адсорбирующего элемента  $Влсод_{0-70\%}$  определялось в соответствии с выражением

$$Влсод_{0-70\%} = \frac{m_1 - m_0}{m_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $m_1$  – масса пропитанного адсорбирующего элемента;  $m_0$  – масса сухого адсорбирующего элемента.

Изменение влагосодержания адсорбирующего элемента осуществлялось в диапазоне 0–70 % (установлено в соответствии с ГОСТ 12604–77).



**а – имитационная модель; б – конечно-элементная модель;**

**в – типоразмер 640×7000;**

**1 – подложка; 2 – электроды чувствительного элемента; 3 – слой диэлектрика;**

**4 – адсорбирующий элемент; 5 – вывод с диэлектрической изоляцией;**

**б – воздушная прослойка**

**Рисунок 1. – Имитационная модель системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» и типоразмер 640×7000 экспериментального образца емкостного датчика встречно-штыревой структуры электродов чувствительного элемента**

2. Проведенный анализ влияния структуры электродов (встречно-штыревой, концентрической и прямоугольной) емкостного чувствительного элемента на электрические параметры имитационной модели системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» позволил подтвердить целесообразность использования встречно-штыревой структуры электродов чувствительного элемента емкостного датчика, так как модель на основе данной структуры электродов характеризуется следующими преимуществами: 1) более равномерным распределением электрического поля в адсорбирующем элементе, что приводит к увеличению чувствительности и позволяет получать более точные результаты измерений; 2) наименьшей глубиной проникновения электрического поля в адсорбирующий элемент (для встречно-штыревой, концентрической и прямоугольной структур электродов чувствительного элемента глубина проникновения электрического поля составила соответственно  $135 \pm 2$ ,  $157 \pm 2$  и  $155 \pm 2$  мкм); 3) наибольшей чувствительностью по изменению влагосодержания адсорбирующего элемента (для встречно-штыревой, концентрической и прямоугольной структур электродов чувствительного элемента емкостного датчика данный показатель составил в среднем  $7,1 \frac{\text{пФ}}{\%}$ ,  $4,6 \frac{\text{пФ}}{\%}$  и  $5,3 \frac{\text{пФ}}{\%}$  соответственно).

3. Проведен анализ влияния геометрических размеров емкостного датчика со встречно-штыревой структурой электродов чувствительного элемента на электрические параметры имитационной модели системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент», основывающийся на следующих исходных данных: 1) основными изменяемыми геометрическими параметрами емкостных датчиков встречно-штыревой структуры электродов чувствительного элемента являлись расстояние между штырями электродов  $G$  и длина перекрывающейся области штырей электродов  $L$ , исходя из этого, определенный типоразмер емкостного датчика, используемый при моделировании, обозначен как датчик  $G \times L$ :  $640 \times 7000$ ,  $1000 \times 11700$  и  $1200 \times 14000$ ; 2) с целью обеспечения покрытия адсорбирующим элементом всей площади электродов соответствующего типоразмера емкостного датчика использовались следующие размеры адсорбирующего элемента: для датчика  $640 \times 7000$  –  $(11,0 \times 11,0) \pm 0,5$  мм<sup>2</sup>, для датчика  $1000 \times 11700$  –  $(15,0 \times 15,0) \pm 0,5$  мм<sup>2</sup>, для датчика  $1200 \times 14000$  –  $(18,0 \times 18,0) \pm 0,5$  мм<sup>2</sup>.

По результатам проведенного моделирования определена целесообразность выбора типоразмера  $640 \times 7000$  емкостного датчика для последующего его изготовления в промышленных условиях (рисунок 1, в) и проведения исследований по его экспериментальной верификации: 1) увеличение геометрических размеров емкостных датчиков со встречно-штыревой структурой электродов приводит к снижению максимальной напряженности электрического поля в области контакта электродов чувствительного элемента с адсорбирующим элементом на  $37 \pm 2$  %; 2) глубина проникновения электрического поля для рассматриваемых типоразмеров емкостных датчиков характеризуется незначительным ( $9 \pm 3$  %) отличием друг от друга; 3) наибольшим значением отношения приращения напряженности электрического поля к приращению расстояния от поверхности электродов датчика в адсорбирующий элемент ( $\Delta E / \Delta l$ ) характеризуется типоразмер  $640 \times 7000$ : величина  $\Delta E / \Delta l$  для типоразмеров  $640 \times 7000$ ,  $1000 \times 11700$  и  $1200 \times 14000$  в среднем составила  $-6,3 \frac{\text{В/м}}{\text{мкм}}$ ,  $-3,9 \frac{\text{В/м}}{\text{мкм}}$  и  $-2,3 \frac{\text{В/м}}{\text{мкм}}$  соответственно.

4. Проведенная экспериментальная верификация подтвердила адекватность разработанной имитационной модели реальной системе «емкостный датчик + адсорбирующий элемент»: 1) отклонение экспериментальных данных от результатов моделирования по оценке глубины проникновения электрического поля в адсорбирующий элемент составило  $4 \pm 2$  %; 2) отклонение экспериментальных данных от результатов моделирования по оценке абсолютного приращения электрической емкости датчика в зависимости от влагосодержания адсорбирующего элемента,

смоченного дистиллированной водой или физиологическим раствором, составило соответственно  $12 \pm 2$  и  $13 \pm 2$  %; 3) изменение концентрации NaCl от 20 до 80 ммоль/л в солевом растворе не оказывает влияния на показания регистрируемого значения электрической емкости системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент». Таким образом, содержание в поте человека различных органических и неорганических веществ не влияет на величину электрической емкости, что, как следствие, повышает эффективность определения количества выделенного человеком пота.

Для более удобного восприятия показателя влагосодержания адсорбирующего элемента ( $Влсод_{0-70\%}$ ) произведен его пересчет в 100-балльную шкалу методом пропорции в соответствии с выражением

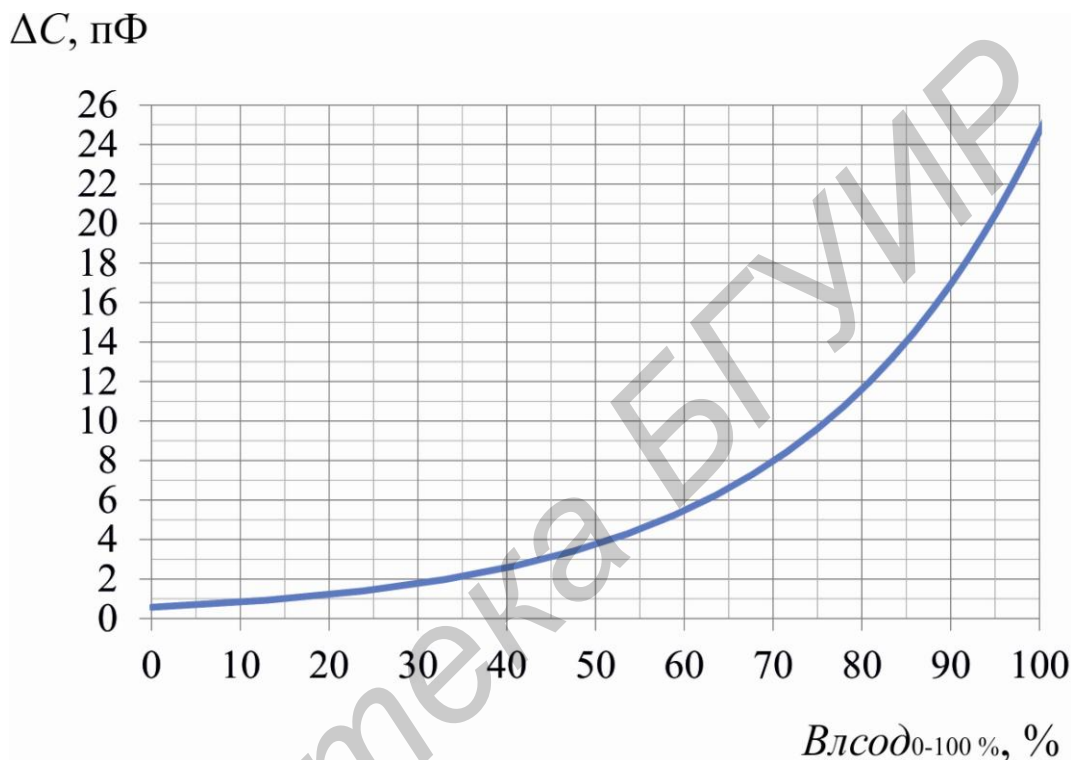
$$Влсод_{0-100\%} = 1,43 \cdot Влсод_{0-70\%}, \quad (2)$$

где за 100 % взято максимальное значение влагосодержания адсорбирующего элемента  $Влсод_{0-70\%}$ , равное 70 %.

По результатам моделирования и экспериментальной верификации системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» теоретически установлена и экспериментально подтверждена экспоненциальная зависимость (градуировочный график (рисунок 2)) величины электрической емкости датчика со встречно-штыревой структурой электродов чувствительного элемента, на котором располагается адсорбирующий элемент в виде пластины из целлюлозы, в условиях различного влагосодержания такого адсорбирующего элемента: при изменении влагосодержания адсорбирующего элемента от 0 до 100 % абсолютное приращение величины электрической емкости возрастает в диапазоне 0,5...24,5 пФ и характеризуется аппроксимирующим выражением  $y = 0,569 \cdot e^{5,39x}$  (коэффициент детерминации –  $R^2 = 0,945$ ).

В **третьей** главе приведены результаты эффективности использования разработанного емкостного датчика со встречно-штыревой структурой электродов чувствительного элемента и адсорбирующего элемента в виде пластины из целлюлозы для количественной оценки потоотделения человека, находящегося в различном физическом состоянии (покой и выполнение интенсивной физической нагрузки). Оценка потоотделения находящегося в состоянии покоя человека была проведена в двух группах: у здоровых лиц и у пациентов, у которых диагностировано повышенное потоотделение рук (первичный гипергидроз). Группа здоровых лиц включала испытуемых в возрасте от 18 до 22 лет (25 человек; средний возраст 20 лет). Группа лиц с диагнозом «первичный гипергидроз» включала испытуемых в возрасте от 19 до 29 лет (17 человек; средний возраст 22 года), прошедших консультацию

на базе ООО «ЛОДЭ». Исследование влияния физической нагрузки на процесс потоотделения человека выполнялось в группе здоровых лиц, включающей нетренированных испытуемых в возрасте от 18 до 21 года (15 человек; средний возраст 19 лет) и тренированных испытуемых (квалифицированных спортсменов, занимающихся легкой атлетикой) в возрасте от 18 до 23 лет (15 человек; средний возраст 20 лет).



**Рисунок 2.** – Градуировочный график зависимости абсолютного приращения электрической емкости  $\Delta C$  от показателя влагосодержания адсорбирующего элемента  $Влсод_{0-100\%}$

Оценка потоотделения находящегося в состоянии покоя человека за заданный промежуток времени предполагало нахождение испытуемых в расслабленном состоянии в течение 35 мин с закрепленными на внутренней части кисти (палец и ладонь) адсорбирующими элементами. Экспериментально установлено, что патологическое потоотделение человека (первичный гипергидроз) характеризуется увеличенным более чем в 2 раза влагосодержанием адсорбирующего элемента ( $Влсод_{0-100\%,cp}$ ) по сравнению с нормальным (физиологическим) потоотделением: в норме для областей исследования палец и ладонь величина  $Влсод_{0-100\%,cp}$  составила соответственно  $12,3 \pm 5,7\%$  и  $9,0 \pm 6,0\%$ , при первичном гипергидрозе – соответственно  $35,1 \pm 8,8\%$  и  $33,9 \pm 10,6\%$  (при использовании парного  $t$ -критерия Стьюдента достоверность полученных результатов по сравнению

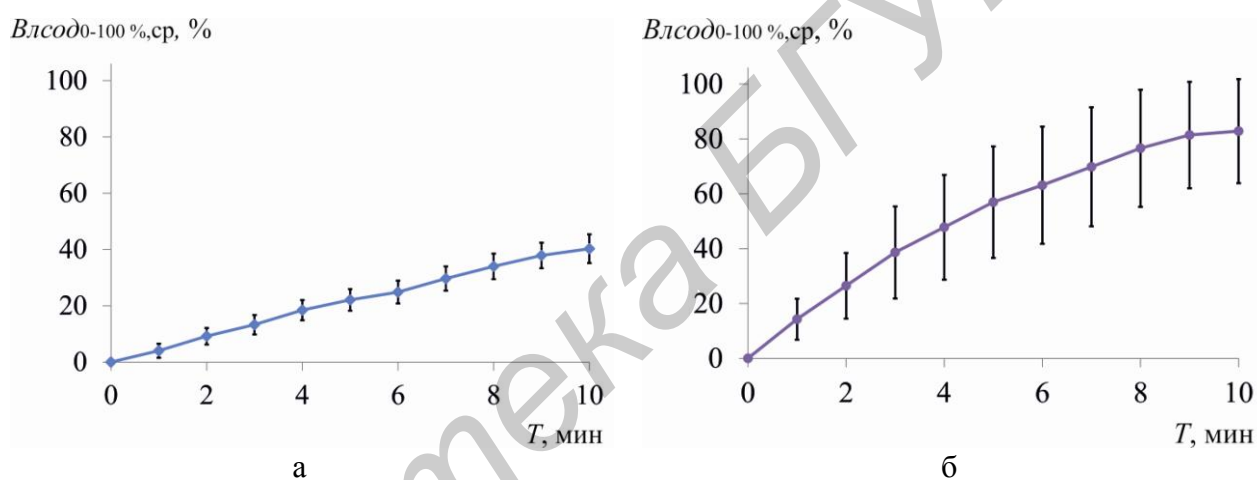
с нормой составила 95 % (уровень значимости  $p < 0,05$ ) для количества испытуемых  $n = 17$ ).

Исследование влияния физической нагрузки на процесс потоотделения человека в течение заданного промежутка времени (10 мин) предполагало следующее: 1) разминка испытуемого (с закрепленным емкостным датчиком и адсорбирующим элементом на исследуемом участке спины испытуемого) путем быстрой ходьбы на беговой дорожке со скоростью 5 км/ч (наклон бегового полотна  $0^\circ$ ) в течение 3 мин с целью предотвращения травмированности и утомляемости групп мышц, участвующих при беге; 2) выполнение испытуемым физической аэробной нагрузки, а именно бег со скоростью 9 км/ч (наклон бегового полотна  $0^\circ$ ) на беговой дорожке в течение 10 мин. По результатам проведенных исследований установлен характер изменения количества выделенного пота у тренированных и нетренированных испытуемых (среднегрупповое значение влагосодержания адсорбирующего элемента и среднеквадратичные отклонения в виде  $\bar{x} \pm \sigma$ ) в течение заданного промежутка времени (рисунок 3).

Экспериментально установлено, что при выполнении физической нагрузки в течение заданного промежутка времени (10 мин) количество выделенного пота у тренированных испытуемых характеризуется уменьшенным до 2,5 раза влагосодержанием адсорбирующего элемента ( $V_{\text{лсод}}_{0-100\%, \text{ср}}$ ) по сравнению с количеством выделенного пота у нетренированных испытуемых: величина  $V_{\text{лсод}}_{0-100\%, \text{ср}}$  для тренированных и нетренированных испытуемых составила соответственно  $40,3 \pm 5,1 \%$  и  $82,9 \pm 18,9 \%$  (при использовании парного  $t$ -критерия Стьюдента достоверность полученных результатов по сравнению с тренированными испытуемыми составила 95 % (уровень значимости  $p < 0,05$ ) для количества испытуемых  $n = 15$ ).

Установлены следующие закономерности изменения интенсивности процесса потоотделения у тренированных и нетренированных лиц в течение 10 минут выполнения физической нагрузки: 1) наиболее интенсивное потоотделение у нетренированных лиц (изредка занимающихся физическими нагрузками) приходится на первые минуты физнагрузки (стадия физиологического напряжения или стрессового состояния организма). Адаптация нетренированного лица к физической нагрузке (стадия устойчивого состояния организма) выражается в уменьшении интенсивности потоотделения (в среднем в 2 раза) в течение последующего промежутка времени занятия спортом; 2) интенсивность потоотделения у тренированного лица характеризуется незначительным изменением (в среднем в 0,9 раза) в течение заданного времени исследования.

Введение адсорбирующего элемента в виде пластины из целлюлозы в качестве накопителя (поглотителя) влаги при совместном использовании емкостного датчика со встречно-штыревой структурой электродов чувствительного элемента позволило существенно (более чем в 2 раза) уменьшить влияние анатомо-физиологических особенностей строения кожи человека на результаты измерений за счет исключения непосредственного контакта разработанного емкостного датчика с кожей. При этом использование адсорбирующего элемента при проведении исследований позволяет накапливать более чем 90 % выделяемого человеком пота, в то время как использование датчика без адсорбирующего элемента позволяет измерять только 30–40% выделяемого человеком пота, что связано с его испарением и растеканием по прилегающей к датчику поверхности кожи.



а – тренированные испытуемые; б – нетренированные испытуемые

**Рисунок 3. – Изменение количества выделенного пота у тренированных и нетренированных испытуемых при выполнении физической нагрузки в течение заданного промежутка времени**

В четвертой главе разработан аппаратно-программного комплекс количественной оценки и мониторинга процесса потоотделения человека (рисунок 4), содержащий портативное устройство для регистрации электрической емкости системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент», аппаратно-программный модуль обработки и визуализации результатов измерения на базе ПК (ноутбука или планшета) и разработанный блок моделирования системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» для определения влагосодержания адсорбирующего элемента в зависимости от величины регистрируемой электрической емкости при различных параметрах емкостного датчика и адсорбирующего элемента (относительной диэлектрической проницаемости и удельной проводимости подложки, электродов чувствительного элемента и диэлектрического покрытия датчика, адсорбирующего элемента; конструкции датчика; толщины диэлектрического покрытия датчика; геометрических размеров адсорбирующего элемента).

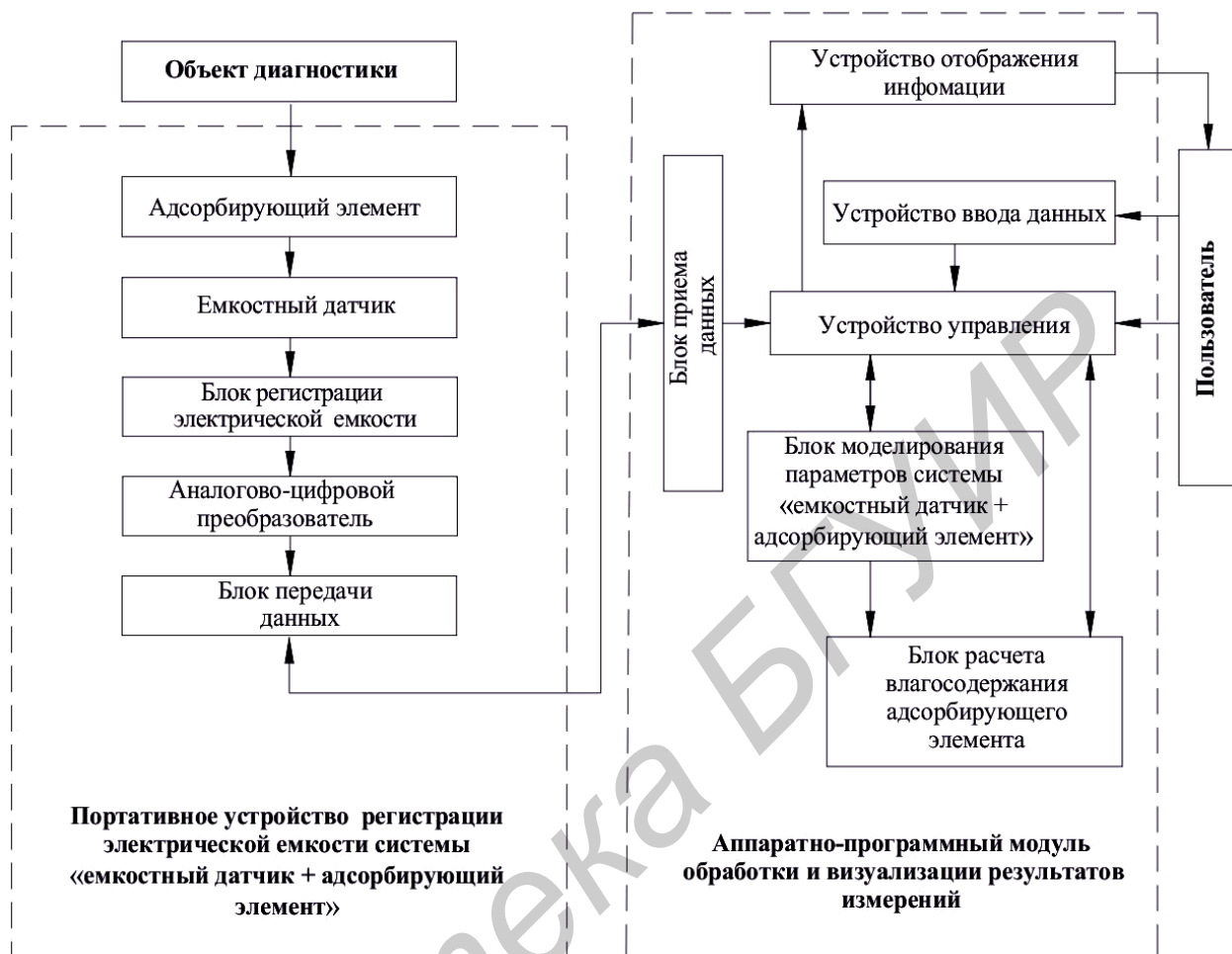


Рисунок 4. – Структурная схема аппаратно-программного комплекса

Предусмотрено два режима работы аппаратно-программного комплекса: режим количественной оценки и режим количественного мониторинга процесса потоотделения человека. Аппаратно-программный комплекс предназначен для верификации первичного гипергидроза, экспресс-оценки изменения потоотделительной функции кожи человека в процессе физической нагрузки, контроля эффективности применяемых физических нагрузок, а также для использования в широких областях медицинской и спортивной практики, а также профессиональной деятельности, связанных с измерением и мониторингом количества выделенного человеком пота.

В приложениях приведены сведения для пояснения изложенного материала, а также акты внедрения результатов диссертации.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Разработана имитационная модель системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент», основанная на методе конечных элементов и позволяющая определять величину электрической емкости адсорбирующего элемента при различном содержании в нем влаги в зависимости от задаваемых параметров емкостного датчика и адсорбирующего элемента (относительной диэлектрической проницаемости и удельной проводимости подложки, электродов чувствительного элемента и диэлектрического покрытия датчика, адсорбирующего элемента; конструкции датчика; толщины диэлектрического покрытия датчика; геометрических размеров адсорбирующего элемента) [2, 3, 6, 9, 12, 16, 17].

2. Теоретически установлена и экспериментально подтверждена экспоненциальная зависимость величины электрической емкости датчика встречно-штыревой структуры электродов чувствительного элемента (при воздействии переменных электрических тока частотой 1 МГц и напряжения 1В), на котором располагается адсорбирующий элемент на основе целлюлозы (толщиной  $190 \pm 8$  мкм, относительной диэлектрической проницаемостью  $3,8 \pm 0,2$  и удельной проводимостью  $10^{-13} - 10^{-14}$  См/м), в условиях различного влагосодержания такого адсорбирующего элемента: при изменении влагосодержания адсорбирующего элемента от 0 до 100 % абсолютное приращение величины электрической емкости возрастает в диапазоне 0,5...24,5 пФ и характеризуется аппроксимирующим выражением  $y = 0,569 \cdot e^{5,39x}$  (коэффициент детерминации –  $R^2 = 0,945$ ) [3, 5, 6, 10, 11, 12].

3. Проведены экспериментальные исследования по количественной оценке потоотделения человека, находящегося в состоянии покоя и при выполнении интенсивной физической нагрузки, при совместном использовании емкостного датчика встречно-штыревой структуры электродов чувствительного элемента и адсорбирующего элемента в виде пластины из целлюлозы. Показано, что повышенное потоотделение при первичном гипергидрозе характеризуется увеличенным более чем в 2 раза влагосодержанием адсорбирующего элемента по сравнению с нормальным (физиологическим) потоотделением. Предложено в качестве количественного критерия использовать показатель влагосодержания адсорбирующего элемента, который позволяет повысить точность определения интенсивности процесса потоотделения в кожных покровах человека в норме и при патологии (первичный гипергидроз) за счет отсутствия непосредственного контакта разработанного емкостного датчика со встречно-штыревой структурой электродов чувствительного элемента с кожей. Показано, что потоотделение у

квалифицированных спортсменов, занимающихся легкой атлетикой, характеризуется уменьшенным до 2,5 раза значением показателя влагосодержания адсорбирующего элемента по сравнению с нетренированными лицами, что позволяет производить количественную экспресс-оценку уровня физической тренированности человека [1, 7, 13, 15].

4. Разработан алгоритм функционирования аппаратно-программного комплекса для количественной оценки и мониторинга процесса потоотделения человека на основе контроля показателя влагосодержания адсорбирующего элемента и обработки получаемых результатов для различных вариантов системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» [7, 14].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. На основании предложенной имитационной модели системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» в результате вычислительного эксперимента получены оптимальные (с точки зрения достижения наибольшей чувствительности (в среднем до 2,5 раза)) при использовании адсорбирующего элемента в виде пластины из целлюлозы (толщиной  $190 \pm 8$  мкм, площадью  $(11,0 \times 11,0) \pm 0,5$  мм<sup>2</sup>, относительной диэлектрической проницаемостью  $3,8 \pm 0,2$  и удельной проводимостью  $10^{-13}$ – $10^{-14}$  См/м) геометрические размеры емкостного датчика встречно-штыревой структуры электродов чувствительного элемента: количество штырей – 14, расстояние между штырями – 640 мкм, длиной перекрывающейся области штырей – 7000 мкм, расстоянием между штырем и электродом – 640 мкм, шириной плеча и электрода – 150 мкм [5, 7, 12, 17].

2. Разработанную методику количественной оценки и контроля процесса потоотделения человека на основе совместного использования емкостного датчика и адсорбирующего элемента целесообразно применять при верификации первичного гипергидроза для отбора пациентов при оперативном лечении данного заболевания; для определения исходного уровня физической подготовленности и характера изменения потоотделительной функции кожи человека за короткий период времени (до 10 мин) и использовать полученную информацию для разработки индивидуального плана занятий по лечебной физкультуре и физическим тренировкам [4, 7, 13, 17], а также для определения стрессоустойчивости личности при профессиональном отборе.

3. Разработанный аппаратно-программный комплекс предназначен для верификации первичного гипергидроза, экспресс-оценки изменения потоотделительной функции кожи человека в процессе физической нагрузки, контроля эффективности применяемых физических нагрузок, а также для использования в широких областях медицинской и спортивной практики, а также профессиональной деятельности, связанных с измерением и мониторингом количества выделенного человеком пота. [7, 14].

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

### Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Воробей, А.М. Исследование импеданса и температуры кожи при ладонном гипергидрозе / А.М. Воробей, С.С. Стебунов // Новости медико-биологических наук. – 2012. – Т. 5, № 2. – С. 170–176.

2. Моделирование емкостного датчика влажности кожи / А.М. Воробей, Д.В. Рымарев, М.В. Давыдов, С.С. Стебунов // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2012. – № 11. – С. 50–55.

3. Моделирование емкостного встречно-штыревого датчика влажности кожи человека для диагностики гипергидроза / А.М. Воробей, Д.В. Рымарев, А.Л. Потапов, М.В. Давыдов, С.С. Стебунов // Доклады БГУИР. – 2013. – № 6 (76). – С. 24–30.

4. Повышенное потоотделение: причины и диагностика / А.М. Воробей, С.С. Стебунов, Г.Д. Ситник, М.В. Давыдов, Д.В. Рымарев, А.Л. Потапов // Новости медико-биологических наук. – 2013. – Т. 5, №2. – С. 5–13.

5. Емкостной датчик встречно-штыревого типа для диагностики избыточной влажности кожи человека / А.М. Воробей, Д.В. Рымарев, А.Л. Потапов, М.В. Давыдов, С.С. Стебунов // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 2 (7). – С. 52–57.

6. Воробей, А.М. Оценка электрической емкости системы «электроды датчика + диэлектрическое покрытие + целлюлозный образец + солевой раствор» при изменении молярной концентрации хлорида натрия в солевом растворе / А.М. Воробей, Т.С. Боброва, Д.В. Рымарев // Молодежь в науке – 2014 : прил. к журн. «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі». В 5 ч. Ч. 2. Сер. фізико-тэхнічных наук ; сер. фізико-матэматычных наук / Нац. акад. навук Беларусі, Совет моладых учыных НАН Беларусі ; редкол. серіі фіз.-тэхн. навук : П.А. Віцязь (гл. ред.) [і др.] : редкол. серіі фіз.-мат. навук : С.Я. Кілін (гл. ред.) [і др.]. – Мінск : Беларуская навука, 2015. – С. 9–10.

7. Воробей, А.М. Диагностический аппаратно-программный комплекс количественной оценки потоотделительной функции кожи человека / А.М. Воробей // Доклады БГУИР. – 2015. – № 5 (91). – С. 112–118.

### Статьи в сборниках и материалах конференций

8. Воробей, А.М. Исследование и анализ импеданса и температуры участка кожи на ладони / А.М. Воробей, В.В. Островская, С.С. Стебунов // Aktualne problemy nowoczesnych nauk–2011 : materiały VII Międzynarodowej nauk.-prakt. konf., Przemysł, 7–15 czerwca 2011 r. / Nauka i studia ; redak.: Jerzy Ciborowski [i in.]. – Przemysł, 2011. – Vol. 27 – С. 53–58.

9. Программно–математическая модель емкостного датчика влажности кожи / А.М. Воробей, Д.В. Рымарев, М.В. Давыдов, С.С. Стебунов // Приборостроение–2012: материалы 5-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21–23 нояб. 2012 г. / БНТУ ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2012. – С. 44–46.

10. Моделирование и экспериментальная верификация датчика влажности кожи / А.М. Воробей, Д.В. Рымарев, А.Л. Потапов, М.В. Давыдов, С.С. Стебунов // Медэлектроника–2012. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : Сб. науч. ст. VII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 13–14 дек. 2012 г. / БГУИР ; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2012. – С. 219–222.

11. Исследование глубины проникновения электрического поля емкостного датчика встречно-штыревого типа для оценки степени увлажненности тестового образца / А.М. Воробей, Т.С. Боброва, Ю.Г. Терпиловская, Д.В. Рымарев // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ–БГУИР : материалы конф. В 2 ч. Ч. 2, Минск, 18–19 мар. 2014 г. / БГУИР ; редкол. : А.Н. Осипов [и др.]. – Минск, 2014. – С. 121–122.

12. Воробей, А.М. Анализ электрических параметров компьютерной модели «емкостной датчик + смоченный целлюлозный образец» / А.М. Воробей // Современные средства связи : материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 14–15 окт. 2014 г. / БГУИР, ВГКС ; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2014. – С 80–82.

13. Vorobei, A. Human perspiration evaluation based on utilization of capacitive interdigital transducer and sweat absorbing cellulose sample / A. Vorobei, D. Rymarev, T. Bobrova // The Youth of 21st Century: Education, Science, Innovations : materials of the 1st International conference for Students, Postgraduates and Young Scientists, Vitebsk, December 4, 2014 / Vitebsk State University; ed.: I.M. Prischepa [et al.]. – Vitebsk : VSU named after P.M. Masherov, 2014. – P. 78–79.

14. Аппаратно-программный комплекс оценки количества и интенсивности потоотделения человека / А.М. Воробей, Т.С. Боброва, Д.В. Рымарев, М.В. Давыдов, С.С. Стебунов // Медэлектроника–2014. Средства

медицинской электроники и новые медицинские технологии : Сб. науч. ст. VIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10–11 дек. 2014 г. / БГУИР ; редкол.: В.С. Улащик [и др.]. – Минск, 2014. – С. 150–152.

### Тезисы докладов на научных конференциях

15. Воробей, А.М. Импедансный метод диагностики первичного гипергидроза / А.М. Воробей, С.С. Стебунов // Сигнальные механизмы регуляции физиологических функций : тез. докл. XIII съезда Белорус. об-ва физиологов и II Междунар. науч. конф., Минск, 19–20 апр. 2012 г. / БГУ ; редкол.: В.В. Лысак [и др.]. – Минск, 2012 – С. 25.

16. Воробей, А.М. Моделирование электрических параметров прототипа встречно-штыревого датчика влажности кожи / А.М. Воробей, Д.В. Рымарев, А.Л. Потапов // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2013 : материалы 9-й Междунар. молодежн. науч.-техн. конф., Севастополь, 22–26 апр. 2013 г. / СевНТУ ; редкол.: Е.В. Пашков [и др.]. – Севастополь, 2013. – С. 276.

17. Воробей, А.М. Емкостной преобразователь встречно-штыревого типа в медицинской диагностике / А.М. Воробей // Технологии обработки оптических элементов и нанесения вакуумных покрытий : тез. докл. научн.-практ. конф., Минск, 26-27 сент. 2013 г. / Мин. пром. Республики Беларусь, ММЗ им. С.И. Вавилова, Оптическое станкостроение и вакуумная техника, НАН Беларуси, Швабе, Красногорский завод им. С.А. Зверева, Контенант ; редкол.: В.С. Томаль [и др.]. – Минск, 2013. – С. 109–110.



## РЭЗІЮМЭ

Стасішына Ганна Міхайлаўна

### СРОДКІ ВЕРЫФІКАЦЫІ ПЕРШАСНАГА ГІПЕРГІДРОЗУ НА АСНОВЕ ЁМКАСНАГА ДАТЧЫКА З АДЧУВАЛЬНЫМ АДСАРБІРУЮЧЫМ ЭЛЕМЕНТАМ

**Ключавыя словы:** ёмкасны датчык, адчувальны адсарбіруючы элемент, верыфікацыя, першасны гіпергідроз, вільгацезмяшчэнне.

**Мэта працы:** удаканаленне тэхнічных сродкаў для верыфікацыі першаснага гіпергідрозу праз выкарыстанне ёмкаснага датчыка з адчувальным адсарбіруючым элементам для вызначэння велічыні электрычнай ёмкасці адсарбіруючага элемента пры розным змяшчэнні ў ім вільгаці ў залежнасці ад зададзеных параметраў ёмкаснага датчыка і адсарбіруючага элемента і забеспячэння колькаснай ацэнкі і маніторынгу працэсу потавыдзялення чалавека.

**Метады даследавання і выкарыстаная апаратура:** мадэліраванне сістэмы «ёмкасны датчык + адсарбіруючы элемент» выконвалася ў праграмным асяроддзі COMSOL Multiphysics. Рэгістрацыя электрычнай ёмкасці сістэмы «ёмкасны датчык + адсарбіруючы элемент» праводзілася з выкарыстаннем апаратна-праграмнага комплексу на базе прамысловага прыбора – вымяральніка іммітанса E7-20.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** тэарэтычна ўстаноўлена і эксперыментальна пацверджана экспаненцыяльная залежнасць паміж велічынёй электрычнай ёмкасці датчыка сустрэчна-штыравой структуры электродаў адчувальнага элемента, на якім размяшчаецца адсарбіруючы элемент у выглядзе пласціны з цэлюлозы, і паказчыкам вільгацезмяшчэння такога адсарбіруючага элемента, што дазволіла стварыць на яе аснове дыягнастычны апаратна-праграмны комплекс, які рэалізуе новую метадыку колькаснай ацэнкі і кантролю працэсу потавыдзялення чалавека на аснове выкарыстання паказчыка вільгацезмяшчэння адсарбіруючага элемента, які з'яўляецца мерай колькасці выдзеленага чалавекам поту.

**Ступень выкарыстання:** вынікі працы ўжыты для дыягностыкі першаснага гіпергідрозу на базе ТАА «ЛАДЭ», для дыягностыкі потавыдзялення чалавека пры фізічных нагрузках на базе УП «Санаторый «Крыніца».

**Вобласць ужывання:** верыфікацыя першаснага гіпергідрозу; экспрэс-ацэнка змянення потавыдзяляльнай функцыі скуры чалавека ў працэсе фізічнай падрыхтоўкі; кантроль эфектыўнасці ўжывальных фізічных нагрузак.

## РЕЗЮМЕ

Сташишина Анна Михайловна

### СРЕДСТВА ВЕРИФИКАЦИИ ПЕРВИЧНОГО ГИПЕРГИДРОЗА НА ОСНОВЕ ЕМКОСТНОГО ДАТЧИКА С ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ АДСОРБИРУЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ

**Ключевые слова:** емкостный датчик, чувствительный адсорбирующий элемент, верификация, первичный гипергидроз, влагосодержание.

**Цель работы:** усовершенствование технических средств для верификации первичного гипергидроза путем использования емкостного датчика с чувствительным адсорбирующим элементом для определения величины электрической емкости адсорбирующего элемента при различном содержании в нем влаги в зависимости от задаваемых параметров емкостного датчика и адсорбирующего элемента и обеспечения количественной оценки и мониторинга процесса потоотделения человека.

**Методы исследования и использованная аппаратура:** моделирование системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» выполнялось в программной среде COMSOL Multiphysics. Регистрация электрической емкости системы «емкостный датчик + адсорбирующий элемент» проводилась с использованием аппаратно-программного комплекса на базе промышленного прибора – измерителя иммитанса Е7-20.

**Полученные результаты и их новизна:** теоретически установлена и экспериментально подтверждена экспоненциальная зависимость между величиной электрической емкости датчика встречно-штыревой структуры электродов чувствительного элемента, на котором располагается адсорбирующий элемент в виде пластины из целлюлозы, и показателем влагосодержания такого адсорбирующего элемента, что позволило создать на ее основе аппаратно-программный комплекс, реализующий новую методику количественной оценки и контроля процесса потоотделения человека на основе использования показателя влагосодержания адсорбирующего элемента, являющегося мерой количества выделенного человеком пота.

**Степень использования:** результаты работы применены для диагностики первичного гипергидроза на базе ООО «ЛЮДЭ», для диагностики потоотделения человека при физических нагрузках на базе УП «Санаторий «Криница».

**Область применения:** верификация первичного гипергидроза; экспресс-оценка изменения потоотделительной функции кожи человека в процессе физической подготовки; контроль эффективности применяемых физических нагрузок.

**SUMMARY**  
Anna Stasishina

**VERIFICATION DEVICES OF PRIMARY HYPERHIDROSIS  
ON THE BASIS OF A CAPACITIVE TRANSDUCER WITH A SENSITIVE  
ADSORPTION ELEMENT**

**Keywords:** capacitive transducer, sensitive adsorption element, verification, primary hyperhidrosis, moisture content.

**Aim of the work:** improvement of technical devices for verification of primary hyperhidrosis using the capacitive transducer with the sensitive adsorption element in order to determine the electrical capacitance figure of the adsorption element with various moisture content in it depending on specified parameters of the capacitive transducer and the adsorption element and in order to provide quantitative evaluation and monitoring of the human perspiration process.

**Research methods and used facilities:** modelling of the system «capacitive transducer + adsorption element» was carried out in the programme environment COMSOL Multiphysics. The registration of electrical capacitance of the system «capacitive transducer + adsorption element» was carried out using a hardware and software system based on industrial device E7-20 for measuring immitance.

**The obtained results and their novelty:** theoretically deduced and experimentally approved an exponential dependence between the electrical capacitive value of the transducer with the interdigital electrode structure, on which the adsorption element in the form of a cellulose strip is placed, and the moisture content figure of such adsorption element. It allowed to create a diagnostic hardware and software system on its base that realizes new methods of quantitative evaluation of human perspiration as well as control of human perspiration process based on the usage of the moisture content figure of the adsorption element, which measures a quantity of exuded human skin sweat.

**Extent of usage:** the results of the work were implemented for diagnosing primary hyperhidrosis at LLC «LODE», and diagnosing human perspiration while having physical trainings at UP «Health Centre «Krinitsa».

**Field of application:** verification of primary hyperhidrosis, express-evaluation of dynamics of human skin perspiration function in the process of physical training, effectivity control of applying physical exercises, in vast areas of clinical medicine and sports practices as well as in the professional activity connected with human skin perspiration measurement and monitoring.



*Научное издание*

**Сташишина Анна Михайловна**

**СРЕДСТВА ВЕРИФИКАЦИИ ПЕРВИЧНОГО ГИПЕРГИДРОЗА  
НА ОСНОВЕ ЕМКОСТНОГО ДАТЧИКА С ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ  
АДСОРБИРУЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского  
назначения

Подписано в печать 09.12.2015. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,4. Тираж 60 экз. Заказ 456.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,  
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

ЛП №02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6