

**БИОМЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

УДК 004.622

**ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА ПО СИГНАЛАМ ГАЗОВОГО ПЬЕЗОСЕНСОРА**

**Т. А. Кучменко**, д.х.н., профессор РАН, заведующий кафедрой физической и аналитической химии ВГУИТ, Воронеж, Россия;

orcid.org/0000-0001-7812-9195, e-mail: tak1907@mail.ru

**Л. А. Коробова**, к.т.н., доцент кафедры ИТМиУ ВГУИТ, Воронеж, Россия;

orcid.org/0000-0003-1349-732X, e-mail: lyudmila\_korobova@mail.ru

**И. А. Матыцина**, к.т.н., доцент кафедры МИСиТ Воронежского филиала «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», Воронеж, Россия;

orcid.org/0000-0001-9236-9654, e-mail: irina210390@mail.ru

**И. А. Мураховский**, аспирант кафедры ИТМиУ ВГУИТ, Воронеж, Россия;

orcid.org/0000-0002-0215-6768, e-mail: Ivan335522@mail.ru

**Д. А. Менжулина**, преподаватель ВГМУ им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия;

orcid.org/0000-0003-3342-2659, e-mail: darinochka\_08@mail.ru

*Рассматриваются вопросы использования устройства биосканер для медицинских исследований. Предложен алгоритм, согласно которому на основе хроночастотограммы, полученные в результате работы неинвазивной диагностики, вычисляются показатели здоровья, по которым описывается общее состояние здоровья человека. Целью работы является изучение возможности получения информации о здоровье человека путем анализа участка кривой сорбции с помощью методов классификации и сокращения размерности. На примере анализа запаха кожи человека продемонстрированы возможности разработанного программного обеспечения. Представлены алгоритмы расчета скорости изменения массы молекул летучих веществ на сенсоре, определения меток состояния человека. Программное обеспечение включает расчет характеристик и визуализацию их наборов для удобного восприятия необученными пользователями. Программное обеспечение позволяет быстро обработать данные от прибора, представить возможные причины отклонения состояния от среднестатистической нормы. Необученные пользователи легко воспринимают информацию без сложной обработки многомерных данных.*

**Ключевые слова:** сенсоры, сорбция, выходные сигналы, преобразование информации, приложение, идентификационные интервалы, метрики, состояние человека, база данных, визуализация.

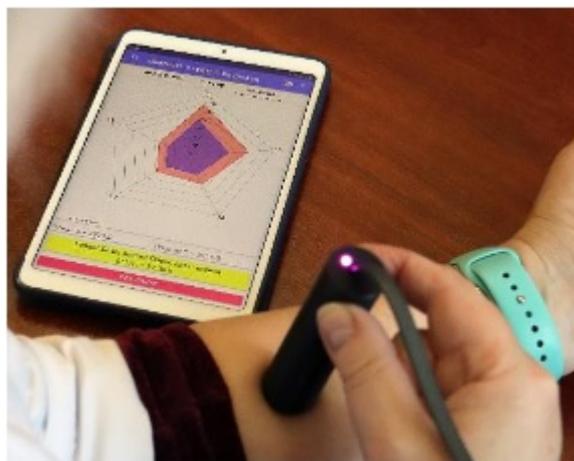
**DOI:** 10.21667/1995-4565-2023-85-158-169

**Введение**

Жизнедеятельность человека сопровождается выделением смеси одорантов. К распознаванию этих смесей научное сообщество проявляло интерес еще в начале XX века. Ученые Персод и Додд предприняли попытки конструирования первых образцов электронного «носа» в 1982 году [1].

«Электронные носы» используются во многих областях, таких как медицина, пищевая промышленность, военно-промышленный комплекс, животноводство и т.д. [2, 3, 4]. «Электронные носы» могут применяться обученным персоналом в лечебных учреждениях, а для необученных пользователей интерпретация результатов прибора вызывает затруднения [5].

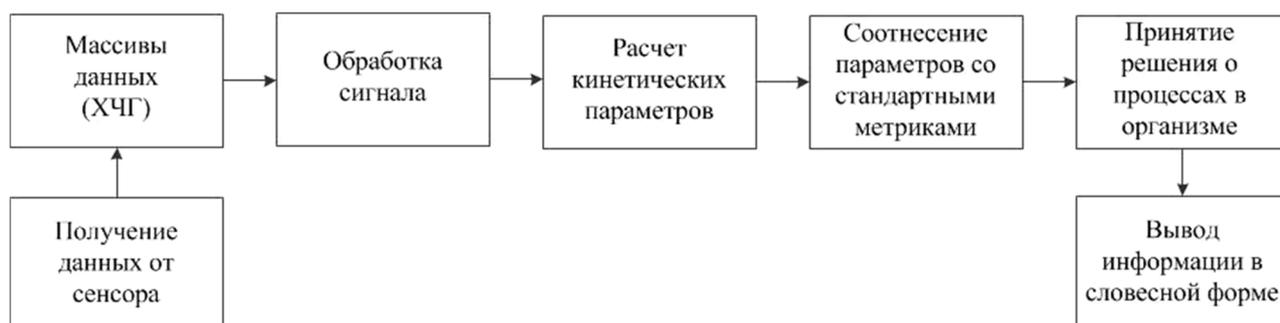
Согласно исследованиям, проведенным ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровья» ФМБА России разработана технология обнаружения коронавируса на основе электронного «носа», которая позволяет выявить носителя вируса за 10-20 секунд по выдыхаемым парам воздуха. Пандемия показала чрезвычайный интерес населения к диагностике состояния собственного здоровья вне лечебных учреждений (на дому) [6, 7, 8, 9]. Поэтому объем продаж на рынке трекеров (гаджетов), позволяющих измерять, анализировать и передавать информацию для дальнейшей обработки, резко возрос. Но все они измеряют физические показатели (пульс, температуру, давление и др.), в то время как наиболее информативными являются химические соединения, выделяющиеся в процессе жизнедеятельности клетками из организма при дыхании и кожей (летучие органические соединения - ЛОС) [10, 11, 12]. ЛОС делятся на прямые и непрямые. К прямым относятся три барьерные системы организма: кожа/видимые слизистые оболочки; дыхательная система, пищеварительный тракт. А к непрямым - образование молекул в окружающей среде широкого спектра высоко активных свободных радикалов, которые препятствуют естественному процессу разрушения озона тропосферы; насыщение атмосферы пероксиацетилнитратом - сильнейшим раздражителем конъюнктивы; нанесение ущерба хозяйственной деятельности человека. На основании наработок научной группы с прибором «нос-диагност» предложено портативное устройство с одним пьезосенсором – биосканер здоровья (рисунок 1) [13].



**Рисунок 1 – Фото измерения летучих органических молекул кожи биосканером здоровья**  
**Figure 1 – Photo of volatile organic molecules measurement of skin by health bioscanner**

### **Теоретическая часть**

Устройство биосканера схоже с обонятельной системой млекопитающих и включает в себя один сенсор в сочетании с блоком преобразования (микросхемой) и последующей компьютерной обработкой информации. Функция биосканера идентична функции обоняния рецепторов в носоглотке [14]. Датчик запаха (сенсор) определяет летучие химические соединения в окружающем воздухе, при этом сорбция молекул вызывает изменение свойств сенсора [13]. Преобразованный в электронный вид результат взаимодействия сенсора и среды визуализируется в выходную кривую в виде графика в декартовой системе координат. По оси ординат откладывается отклик сенсора, вызванный сорбцией молекул, по оси абсцисс – время проведения исследования. Например, для пьезорезонансного сенсора – это хроночастотограмма (ХЧГ), которая с шагом в 1 секунду формируется из текущих значений изменения частоты колебания кварцевой пластины сенсора в среде окружающего ее воздуха. Обработка сигнала заключается в переводе эффекта взаимодействия молекул с поверхности сенсора в физический сигнал в виде частоты колебания сенсора. Затем происходят компьютерная обработка данных и представление итогового вывода конечному пользователю [15]. На рисунке 2 показана схема работы биосканера.



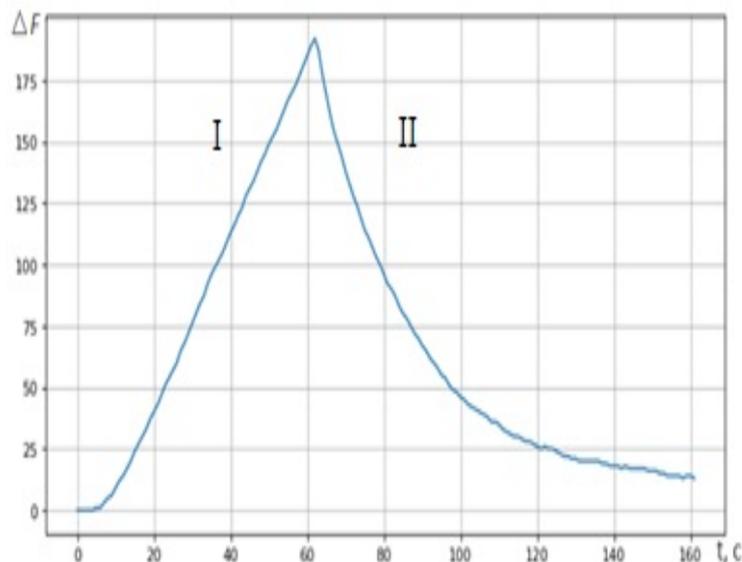
**Рисунок 2 – Функциональная схема биосканера**  
**Figure 2 – Functional diagram of bioscanner**

Портативный биосканер с одним сенсором разработан группой профессора Т.А. Кучменко. Портативный биосканер по своей методологии - это персональный гаджет или трекер. Он имеет малые размеры, удобен в использовании и предназначен для неинвазивной диагностики состояния человека по запаху кожи [10, 16].

Укрупненный алгоритм диагностики состояния организма пользователя биосканером здоровья представим следующим образом.

I. Фиксирование сенсором биосканера ЛОС, воды, выделяющихся из кожи пользователя (детектирование). Экспериментально установлено, что кожа выделяет тысячи молекул, каждая из которых по-своему свидетельствует о химических процессах, протекающих в организме человека. С течением времени в зависимости от состояния органов и систем человека меняется и состав молекул [17].

II. Получение сигналов сенсора во время детектирования и формирование хроночастотограммы – графика (кривая) в декартовой системе координат, по оси ординат –  $t$ , время в секундах, по оси абсцисс –  $\Delta F$ , Гц, изменение частоты колебания кварцевой пластины сенсора. Пример хроночастотограммы одного сенсора представлен на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Хроночастотограмма одного сенсора во время измерения с ветками нагрузки (I) и разгрузки (II)**

**Figure 3 – Chronofrequency profile of one sensor during measurement with load (I) and unload (II) branches**

III. По графику хроночастотограммы определяется скорость изменения массы молекул летучих веществ в околосенсорном пространстве в результате сорбции (сорбция летучих веществ на покрытие сенсора из околосенсорного пространства). Возможны расчеты скорости реакции сенсора в разные моменты измерения и после его окончания. Установлено, что величины этих кинетических параметров, а также интегральные характеристики всего процес-

са (например, площадь под выходной кривой сенсора  $S$ ) зависят от природы и концентрации летучих соединений около сенсора и соответственно поступающих из пробы (кожи в том числе). Алгоритм определения значения скорости представлен на рисунке 4.

IV. Определение и установление идентификационных границ интервалов кинетических параметров, связанных с присутствием и содержанием определенных групп летучих веществ. Суть этого этапа – обучение системы и формирование стандартной базы параметров, позволяющих распознать с помощью сигнала сенсора биосканера в околосенсорном пространстве конкретных веществ.

V. Установление характера влияния процессов, происходящих в организме человека, на изменение границ кинетических идентификационных параметров (численные характеристики) и соотнесение с ними описательных меток состояний (вербальные характеристики). «Электронный нос» – газоанализатор, диагностирующий легколетучую часть метаболома человека, выделяемого через кожу. Метаболом человека по своему фундаментальному значению подобен его геному. Это как бы химический аналог генома. Если геном представляет программу жизни клетки, то метаболом – ее ингредиенты. Поскольку метаболомы в качестве индикаторов здоровья и протекающих в организме физиологических процессов несравненно чувствительны, изучая их динамику состава и концентрацию, можно понять молекулярные основы возникновения множества заболеваний или, по крайней мере, выявить их биомаркеры [18].

VI. Уточнение и присвоение меток состояния человека (стресс, боль, возбуждение, упадок сил и др.). Алгоритм определения меток состояния человека показан на рисунке 5.

Приложение использует две базы данных в соответствии с процессом обучения и распознавания. База данных для пользователя содержит набор границ кинетических параметров и их вербальных описаний, связанных с состоянием. На сегодняшний момент система обучена на 15 различных состояний (вербальных характеристик). База данных для специалиста (химик, технолог, медицинский работник и т.д.) содержит набор границ интервалов скорости, по которым и происходит определение присутствия летучих молекул веществ в воздухе или на коже человека и наименования летучих веществ. На сегодняшний момент биосканер обучен на распознавание 30 веществ [19].

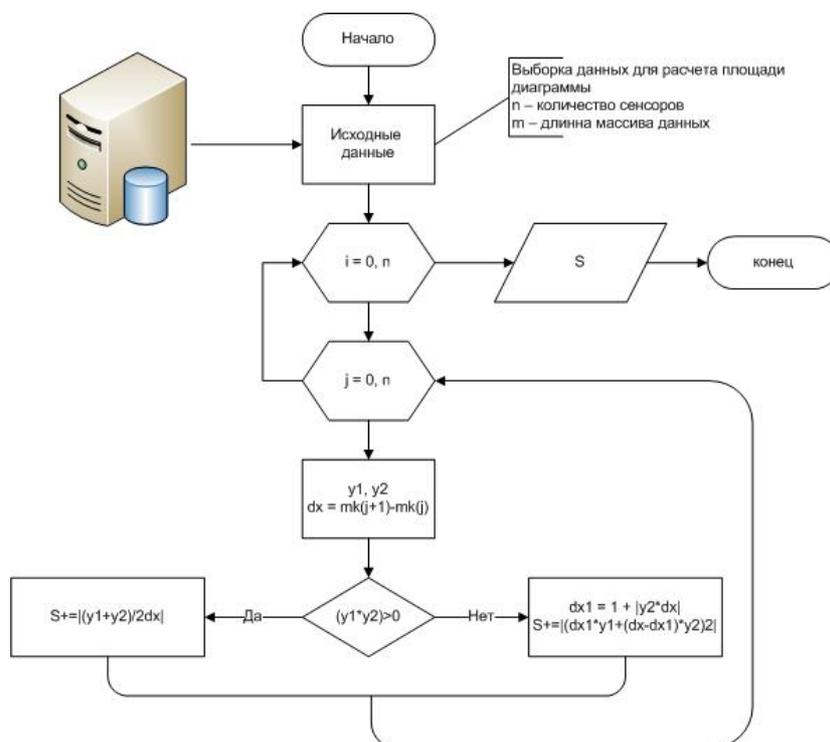


Рисунок 4 – Алгоритм расчета скорости изменения массы молекул летучих веществ на сенсоре  
Figure 4 – Algorithm for calculating the rate of change in the mass of molecules of volatile substances per sensor

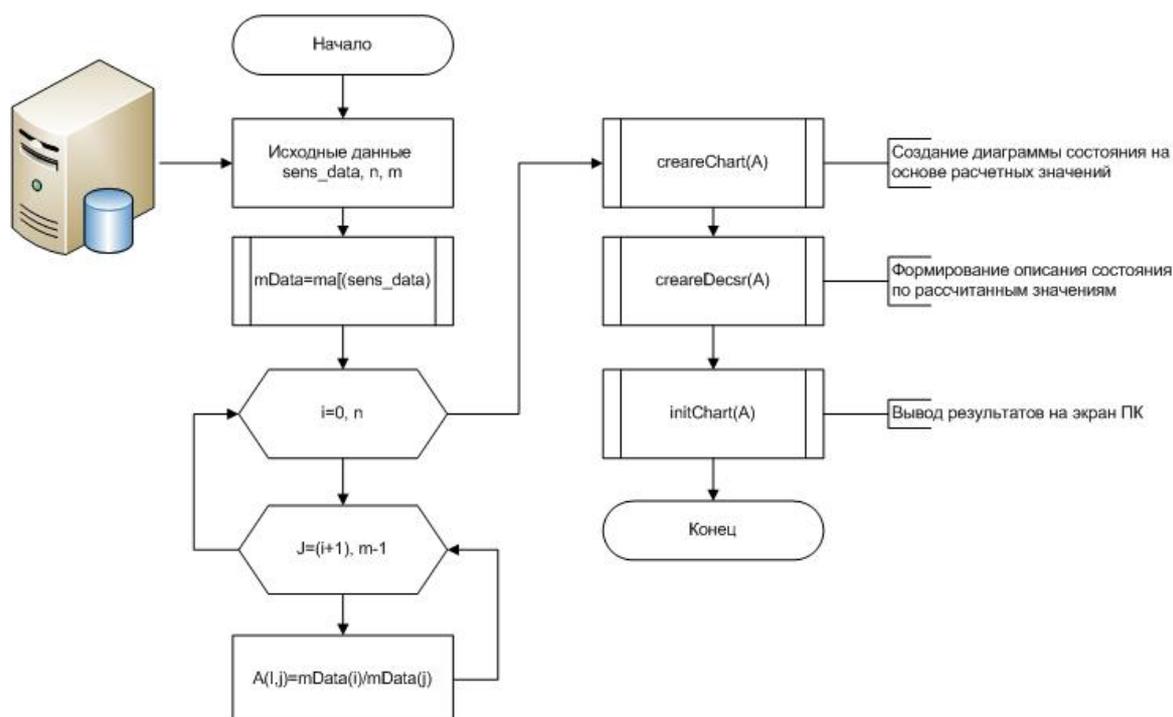


Рисунок 5 – Алгоритм определения меток состояния человека

Figure 5 – Algorithm for determining human state labels

В качестве СУБД для разработки приложения был выбран PostgreSQL. Это объектно-реляционная база данных с открытым исходным кодом, которая по производительности не уступает конкурентам [20]. PostgreSQL обеспечивает расширенную емкость данных. Разработанная база данных представлена на рисунке 6.

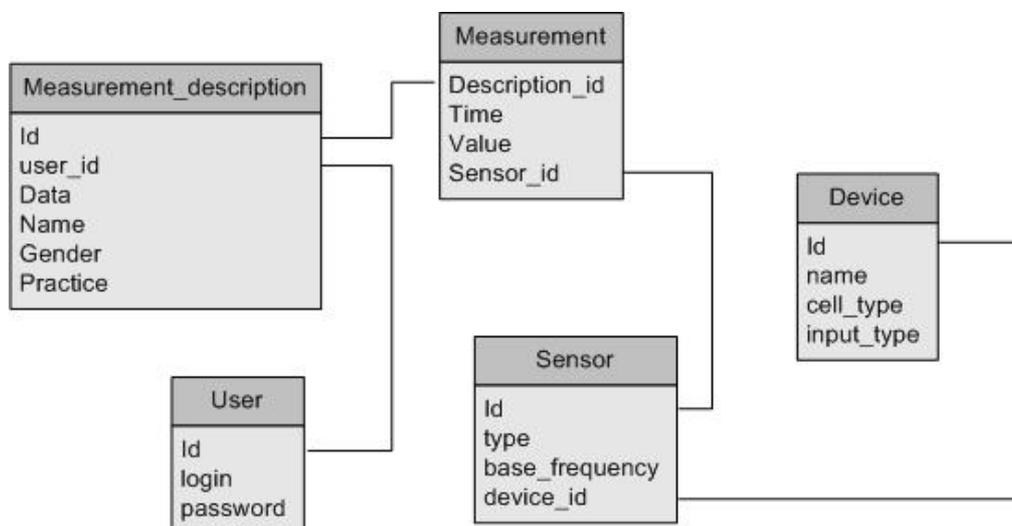


Рисунок 6 – Схема данных для сохранения результатов измерения

Figure 6 – Data scheme for storing measurement results

Таблица «Measurement» содержит информацию о значении сигнала сенсора в конкретный момент времени. В таблице «Sensor» находится информация о характеристиках пьезо-сенсора. Таблица «Device» содержит информацию о биосканере здоровья.

В основе разработки приложения лежит архитектура MVC (model-view-controller или «модель-представление-контроллер»). Модули приложения, а также способ взаимодействия с устройством биосканер здоровья представлены на рисунке 7.

Использование приложения не предполагает дополнительных материальных вложений для приобретения специального оборудования [20]. Приложение может быть установлено на операционную систему Android.

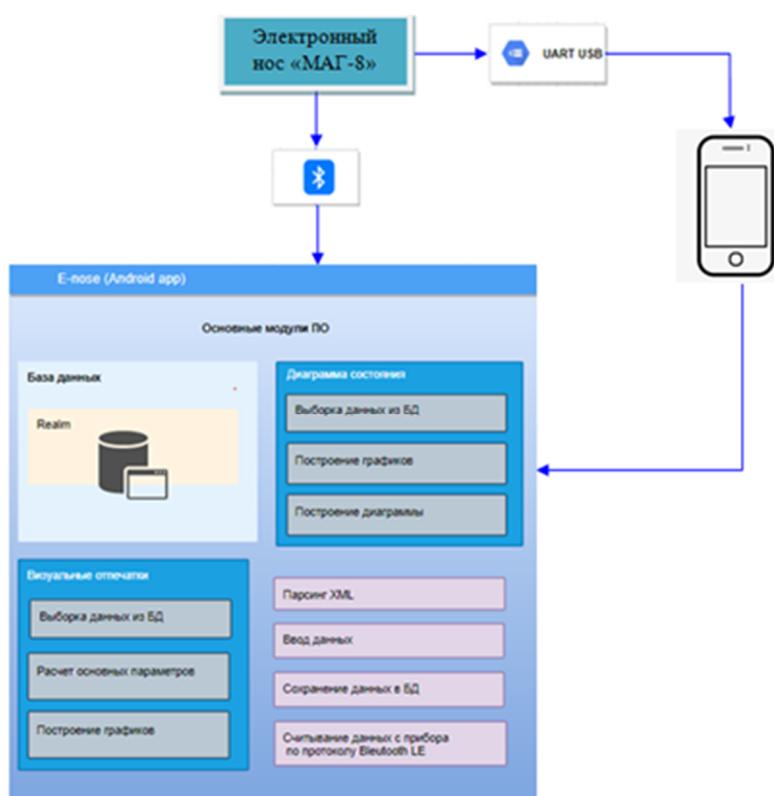


Рисунок 7 – Структурная схема приложения  
Figure 7 – Application block diagram

### Экспериментальные исследования

Частота колебаний, фиксируемая встроенным частотомером, изменяется пропорционально сорбируемой массе летучих веществ в процессе измерения в течение определенного интервала времени. Измеряемая частота зависит от времени и показывает, как происходит процесс изменения массы молекул, осаждающихся на поверхность сенсора - эта зависимость и является ХЧГ. Вычислительную модель частоты колебаний кварца сенсора (резонатора) можно представить как функцию от разности текущего значения измеряемой частоты и начального значения, соответствующего отсутствию воздействия молекул из измеряемой смеси летучих веществ на кварцевой пластине, взятой с обратным знаком. Модель имеет вид:

$$\begin{aligned} -\Delta F(F_i - F_{\text{старт}}) &= k \cdot \Delta m, \\ \Delta m &= f(C_i), \\ C_i &= f(C_{\text{кожа}}), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\Delta F$  – изменение частоты резонатора;  $F_i$  – значение частоты резонатора в текущей точке ХЧГ;  $F_{\text{старт}}$  – значение частоты резонатора в начальной (нулевой) точке ХЧГ;  $\Delta m$  – изменение массы молекул сорбции на резонаторе;  $k$  – константа пропорциональности;  $C_i$  – концентрация молекул  $i$ -го летучего вещества на резонаторе;  $C_{\text{кожа}}$  – концентрация молекул, выделяющихся кожей человека за это время.

Кинетический параметр эффективности сорбции смесей летучих веществ определяется как:

$$a_{t_1/t_2} = \frac{F_{t_1}}{F_{t_2}}, \quad (2)$$

где  $F_{t_1}$  – значение резонатора в момент времени  $t_1$ ,  $F_{t_2}$  – значение резонатора в момент времени  $t_2$ .

В соответствии с решаемой задачей и видом пробы подбираются такие моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , когда резонатор наиболее чувствителен к конкретному определенному веществу или их смеси.

Для расчета значений доли энергии ( $E$ ) и интервала времени активации сенсора  $\Delta\tau$ :

$$E = \frac{S(M\_E)}{S(M\_D)}, \quad (3)$$

где  $E$  – доля энергии,  $S(M\_E)$  – площадь фигуры, построенной по маске энергии,  $S(M\_D)$  – площадь фигуры, построенной по дискретной маске.

$$\Delta\tau = \tau_d - \tau_c, \quad (4)$$

где  $\tau_d$  – время, когда фиксируется половина максимального сигнала в ветке разгрузки (когда пользователь убрал руку и происходит десорбция),  $\tau_c$  – время, когда фиксируется половина максимального сигнала в ветке нагрузки (от 0 и до момента, когда пользователь убрал руку от прибора).

Алгоритм использования в приложении формул (1) – (4) построен таким образом, что сами формулы и их комбинации можно изменять и дорабатывать только в программном коде [21]. Большинство значений параметров рассчитываются по одним и тем же формулам или наборам формул, но для разных моментов времени или по разным маскам. В данном случае маска – это массив сигналов сенсоров, полученный в конкретные моменты времени, когда сенсоры наиболее чувствительны к определенным веществам или аномальным состояниям организма.

Проведение расчетов автоматизировано, наборы формул сохранены в базу данных, и разработан программный интерфейс для специалистов, чтобы они могли корректировать начальные параметры исследования. На рисунке 8 представлена схема данных, которая демонстрирует перенос наборов рассчитываемых параметров из приложения в базу данных.

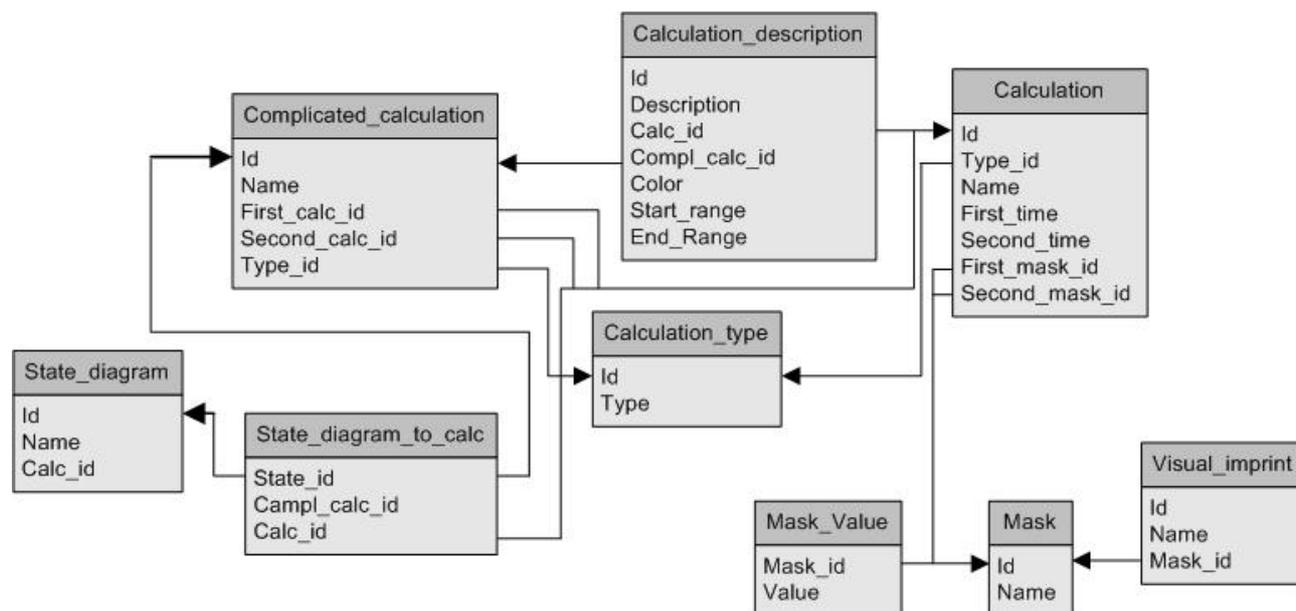


Рисунок 8 – Модель данных для сохранения алгоритмов измерения  
Figure 8 – Data Model for Saving Measurement Algorithms

Модель данных состоит из девяти таблиц. Таблица «Visual\_imprint» содержит информацию о визуальном следе сигналов сенсоров в отдельные моменты времени, построенном в виде круговых диаграмм, его название и маску, по которой строится фигура. Таблица «Mask» разработана для хранения информации о маске. Таблица «Mask\_value» хранит в себе информацию о ключевых временных точках, в которых прибор более чувствителен к определенным типам летучих веществ. Таблица «Calculation» содержит информацию о формулах, по которым рассчитываются кинетические параметры в приложении. Таблица «Calculation\_type» хранит в себе информацию об операции вычисления. Таблица «Complicated\_calculation» содержит информацию о сложных вычислениях, в которых выполняется сочетание с другими формулами. Таблица «Calculation\_description» использует описание, которое выводится в диаграмме состояния в зависимости от попадания рассчитанного параметра в определенные границы. Таблица «State\_diagram» содержит набор параметров, который входит в диаграмму состояния. Таблица «State\_diagram\_to\_calc» связывает диаграмму состояния с вычисляемыми параметрами.

Разработанное программное приложение обеспечивает следующий порядок работы с биосканером здоровья.

1. Контроль подключения к прибору и готовность сенсора к измерению. Осуществляется проверка правильности подключения к прибору и адаптации сенсора под окружающую среду и конкретного пользователя для проведения исследования.

2. Мониторинг сигнала сенсора. Возможен выбор одного режима измерения из трех возможных, отличающихся по времени измерения. В каждый пункт меню заложен определенный алгоритм измерений. В соответствии с алгоритмом измерений происходит построение по полученным данным ХЧГ, расчет кинетических параметров и занесение данных в базу с указанием принадлежности к конкретному пользователю.

3. Обработка и визуализация данных, понятных экспертам и пользователем. Выбор алгоритма обработки результатов, расшифровка проведенных расчетов. Выбор алгоритма визуализации измерений и представление результатов исследования.

4. Возможность загрузки файлов в формате xml из внешнего источника памяти устройства и выгрузка измерения в виде выходной кривой сенсора.

По виду фигуры визуального следа сигналов сенсора эксперт диагностирует различные состояния здоровья организма человека. Визуальные следы сигналов сенсора при измерении, сделанные на левой и правой руках, накладываются друг на друга, что позволяет анализировать различные состояния работы органов слева и справа. На экране пользователь видит одну из трех вкладок с разной визуализацией сигналов: дискретное, полное и энергия.

На рисунке 9 представлены примеры построения визуального следа сигналов сенсора.

Организм человека не симметричен по природе органов, и важно проводить измерения с обеих сторон для получения точной картины состояния. Пробы берутся в определенных местах оголенной руки (правой и левой). Каждой точке соответствует анализируемый (проверяемый) орган. Результат анализа представляется «визуальным следом» сигналов (рисунок 9). Если исследуемый орган человека условно здоров, то система отобразит симметричный отпечаток. В противном случае, если наблюдается большая разница в форме и площади фигур визуальных следов сигналов сенсора с левой и правой сторон, это свидетельствует о проблемах с проверяемым органом и следует обратиться к врачу для дальнейшей диагностики [22].

Специалистами проанализированы 12 тысяч измерений для того, чтобы определить надежные параметры, которые способны показать отклонения состояния организма от нормы. В течение двух лет ведется тестирование добровольцев (более 100 человек), для них получено также около 13500 измерений, которые позволяют корректировать границы численных и описание вербальных характеристик. Тем самым снижается доля ложных оценок. «Визуальные следы» сигналов сенсора (фигуры) понятны эксперту, сразу становятся привычными пользователю для быстрой оценки состояния. Опрос добровольцев показал, что желательно сделать приложение более доступным, простым как в плане его использования, так и

в плане выведения в наглядной и понятной форме информации о состоянии его организма. Рекомендовано свести весь массив полученной информации к краткому точечному описанию состояния или причин нарушения нормального функционирования.

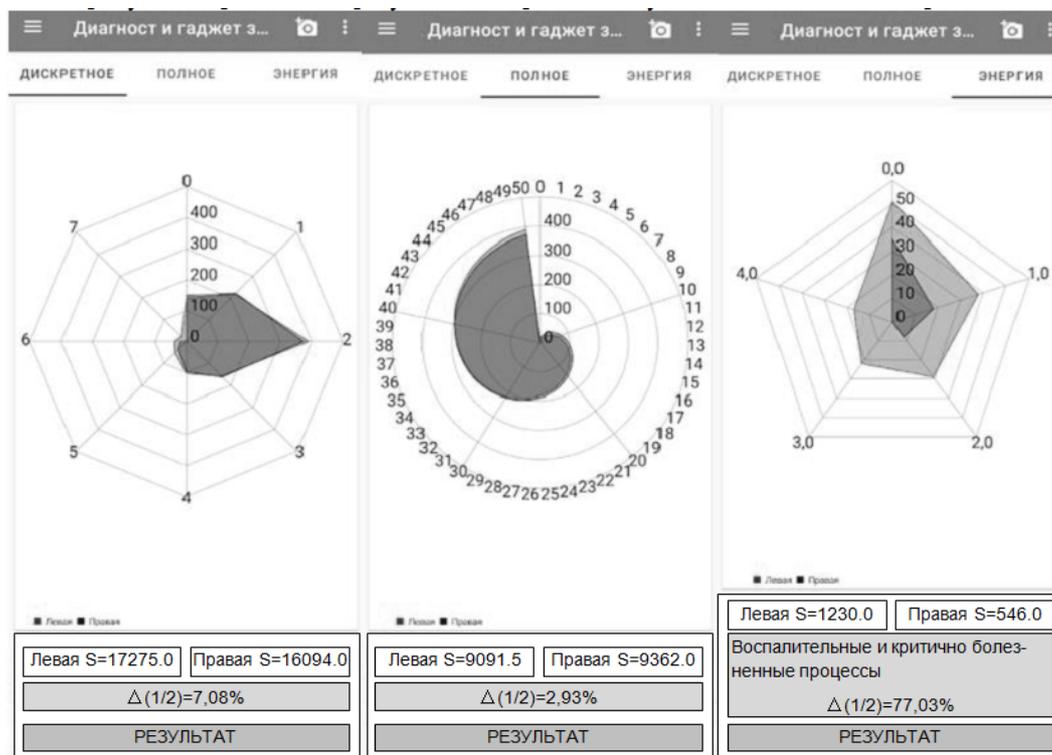


Рисунок 9 – «Визуальные следы» сигналов одного сенсора биосканера здоровья  
Figure 9 – Visual traces of signals from one sensor of health bioscanner

### Заключение

Представлено программное приложение для взаимодействия с биосканером здоровья. Приложение позволяет осуществлять персонализацию результатов измерения при использовании устройства. Приложение предоставляет возможность сразу в понятном виде получать результат о состоянии здоровья организма пользователя. С учетом накопленных данных и опыта работы с устройством разработана программа на платформе Android с простым и дружелюбным интерфейсом, доступным начинающим пользователям.

### Библиографический список

1. Кузык В. Нос и язык, которым нужны батарейки. Текст: электронный – URL: <https://biomolecula.ru/articles/nos-i-iazyk-kotorym-nuzhny-batareiki>.
2. Кечкина Н. И., Попов А. А., Баранова Д. И. Обзор применения современных систем типа «электронный нос» для анализа качества пищевых продуктов // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 2. С. 77-81.
3. Синицына О. В., Мешков Г. Б., Яминский И. В. «Электронный нос» для медицинских приложений: поиск новых материалов для сенсорных элементов // Медицина и высокие технологии. 2016. № 2. С. 40-44.
4. Козырев И. А., Батаева Д. С., Насонова В. В. Мультисенсорная система «электронный нос» для определения качества мясных продуктов в процессе хранения // Пищевые системы. 2021. Т. 4. № 3S. С. 142-147. DOI 10.21323/2618-9771-2021-4-3S-142-147.
5. Kuchmenko T., Lvova L. Piezoelectric Chemosensors and Multisensory Systems Chemosensitive Materials: Smart Materials for Chemical and Biological Stimulation: Edition 2, 2022, 646 p. Chapter 16: pp. 567-603.
6. Коробова Л. А., Матыцина И. А. Разработка модуля медицинской информационной системы для диагностики легочных заболеваний // Вестник НГИЭИ. 2018. № 10 (89). С. 13-28.

7. **Абрамов Г. А., Коробова Л. А., Ивашин А. Л., Матыцина И. А.** Разработка модуля диагностики информационной системы мониторинга здоровья больных легочными заболеваниями // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2018. № 65. С. 136-142. DOI 10.21667/1995-4565-2018-65-3-136-142.

8. **Виноградов И.** Носителей коронавируса будет выявлять «электронный нос» / текст: электронный – URL: <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2020/10/04/842054-nositelei-koronavirusa>.

9. Бороться с коронавирусом помогут «электронные носы». Интервью Германа Шипулина «Российской газете» / Текст: электронный – URL: <https://www.cspfmba.ru/smi/18276/> - Загл. с экрана.

10. **Морозов А. В., Мураховский И. А., Капустин А. С., Кучменко Т. А., Менжулина Д. А.** Трекеры здоровья и программное обеспечение к ним - шаг к персонализации и партисипативности мониторинга здоровья // Химические проблемы современности 2022: сборник материалов VI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Донецк, 17–19 мая 2022 года / Редколлегия: А.В. Белый (отв. ред.) [и др.]. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2022. С. 313-315.

11. **Кучменко Т. А., Шуба А. А., Менжулина Д. А.** К вопросу о корреляции результатов анализа биопроб детей стандартными методами и массивом пьезосенсоров в условиях стационара // Журнал аналитической химии. 2022. Т. 77. № 3. С. 269-281. DOI 10.31857/S004445022201008X.

12. **Плюта В. А., Сидорова Д. Е., Завильгельский Г. Б.** Влияние летучих органических соединений, синтезируемых бактериями, на экспрессию с промоторов генов *zntA*, *copA* и *arsR*, индуцируемых в ответ на действие меди, цинка и мышьяка // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. 2020. Т. 38. № 3. С. 128-135. DOI 10.17116/molgen202038031128.

13. Патент № 2761165 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/28, G01N 33/36. Способ экспрессного инструментального установления аутентичности запаха человека и одежды: № 2021101323: заявл. 22.01.2021: опубл. 06.12.2021 / Т. А. Кучменко, Д. А. Менжулина; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

14. **Kuchmenko T. A., Dorovskaya E. S., Umarchanov R. U., Krylov V. V., Smetankina A. V., Menzhulina D. A., Bitjukova V. V.** Portable electronic nose system for fast gynecological-conditions diagnosis in consulting room: A case study. Sensors and Actuators: B. Chemical, 2022. Vol. 358, pp. 131538.

15. **Kuchmenko T. A., Umarchanov R. U., Menzhulina D. A.,** Biohydroxyapatite is a new phase for the selective micro weighing of organic compound vapours – markers of inflammation in the nasal mucus of calves and humans, Report 1. Sorption in model systems, Sorpt. Chromatogr. Process, 2021.

16. **Kuchmenko T. A., Dorovskaya E. S., Bosikova Yu. N., Smetankina A. V., Bitjukova V. V.** Application of an Electronic Nose Based on Piezoelectric Sensors for Scanning Volatile Compounds of Gynecological Tests // Journal of Analytical Chemistry, 2021, Vol. 76, No. 7, pp. 868-880.

17. Воронежские открытия: что создали ученые региона. Электронный «нос» для диагностики болезней / Текст: электронный – URL: <https://riavn.ru/stories/voronezhskie-otkrytiya-chto-sozdali-uchenye-regiona-elektronnyj-nos-dlya-diagnostiki-boleznej/>.

18. **Центалович Ю., Зеленцова Е., Мельников А., Снытникова О., Яньшолле В., Яньшолле Л.** Метаболом – молекулярное «зеркало» жизни // Наука из первых рук. 2019. №5/6(85).

19. **Кучменко Т. А., Мураховский И. А., Менжулина Д. А.** Программа «Health by smell of skin (hsmellsoft)» для фиксации, расчета, представления и описания данных односенсорного гаджета / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021662698, 03.08.2021. Заявка № 2021616688 от 29.04.2021.

20. **Korobova L. A., Tolstova I. S., Matytsina I. A., Mironova M. S.** Prototype mobile application definitions fresh products based on neural network // Journal of Physics: Conference Series : Current Problems, Voronezh, 07-09 декабря 2020 года. Voronezh, 2021. P. 012118. DOI 10.1088/1742-6596/1902/1/012118.

21. **Коробова Л. А., Малиенко Е. С., Сафонова Ю. А.** Математическая модель, алгоритм и программная реализация экспертной системы первичной медицинской диагностики часто встречающихся заболеваний // Информационные технологии моделирования и управления. 2018. Т. 112. № 4. С. 301-307.

22. **Кучменко Т. А., Доровская Е. С., Босикова Ю. Н.** Применение «электронного носа» на пьезосенсорах для сканирования летучих соединений гинекологических проб // Журнал аналитической химии. 2021. Т. 76, № 7. С. 634-647. DOI 10.31857/S0044450221070069.

UDC 004.622

## SOFTWARE AND ALGORITHMIC SUPPORT TO ASSESS HUMAN HEALTH BY GAS PIE-ZOSENSOR SIGNALS

**T. A. Kuchmenko**, Dr. Sc. (Chem.), Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Physical and Analytical Chemistry, VSUET, Voronezh, Russia;

orcid.org/0000-0001-7812-9195, e-mail: tak1907@mail.ru

**L. A. Korobova**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor of the Department of ITMC VSUET, Voronezh, Russia;

orcid.org/0000-0003-1349-732X, e-mail: lyudmila\_korobova@mail.ru

**I. A. Matytsina**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor of the Department of MISiT Voronezh branch «GUMRF named after Admiral S.O. Makarov», Voronezh, Russia;

orcid.org/0000-0001-9236-9654, e-mail: irina210390@mail.ru

**I. A. Murakhovsky**, post-graduate student, Department of ITMC, VSUET, Voronezh, Russia;

orcid.org/0000-0000-0000-000X, e-mail: Ivan335522@mail.ru

**D. A. Menzhulina**, lecturer at VSMU named after. N.N. Burdenko, Voronezh, Russia;

orcid.org/0000-0003-3342-2659, e-mail: darinotchka\_08@mail.ru

*The issues of using a bioscanner device for medical research are considered. An algorithm is proposed, according to which, on the basis of chronofrequencyogram obtained as a result of the work of non-invasive diagnostics, health indicators are calculated, which describe the general state of human health. **The aim of the work** is to study the possibility of obtaining information about human health by analyzing a section of sorption curve using classification and dimensionality reduction methods. On the example of the analysis of human skin smell, the possibilities of the developed software are demonstrated. Algorithms are presented for calculating the rate of change in volatile substances molecules mass on the sensor to determine the marks of person's state. The software includes the calculation of characteristics and visualization of their sets for easy perception by untrained users. The software allows you to quickly process the data from the device, to present the possible reasons for state deviation from average statistical norm. Untrained users easily perceive information without complex processing of multidimensional data.*

**Keywords:** sensors, sorption, output signals, information transformation, application, identification intervals, metrics, human condition, database, visualization.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2023-85-158-169

### References

1. **Kuzyk V.** Nos i yazyk, kotorym nuzhny batarejki. Text: electronic – URL: <https://biomolecula.ru/articles/nos-i-iyazyk-kotorym-nuzhny-batareiki>. (in Russian).
2. **Kechkina N. I., Popov A. A., Baranova D. I. [et al.]** Obzor primeneniya sovremennykh sistem tipa «elektronnyj nos» dlya analiza kachestva pishchevykh produktov. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2015, no. 2, pp. 77-81. (in Russian).
3. **Sinicyna O. V., Meshkov G. B., Yaminskij I. V.** «Elektronnyj nos» dlya medicinskih pri-lozhenij: poisk novykh materialov dlya sensorynykh elementov. *Medicina i vysokie tekhnologii*. 2016, no. 2, pp. 40-44. (in Russian).
4. **Kozyrev, I. A., Bataeva D. S., Nasonova V. V.** Mul'tisensornaya sistema «elektronnyj nos» dlya opredeleniya kachestva myasnykh produktov v processe hraneniya. *Pishchevye sistemy*. 2021, vol. 4, no. 3S, pp. 142-147. (in Russian). DOI 10.21323/2618-9771-2021-4-3S-142-147.
5. **Kuchmenko T., Lvova L.** Piezoelectric Chemosensors and Multisensory Systems Chemosensitive Materials: *Smart Materials for Chemical and Biological Stimulation: Edition 2*, 2022, 646 p. Chapter 16: pp. 567-603.
6. **Korobova L. A., Matytsina I. A.** Razrabotka modulya medicinskoj informacionnoj sistemy dlya diagnostiki legochnykh zabolevanij. *Vestnik NGIEI*. 2018, no. 10(89), pp. 13-28. (in Russian).
7. **Abramov G. A., Korobova L. A., Ivashin A. L., Matytsina I. A.** Razrabotka modulya diagno-stiki informacionnoj sistemy monitoringa zdorov'ya bol'nykh legochnymi zabolevaniyami. *Vestnik Ryazanskogo*

gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta. 2018, no. 65, pp. 136-142. (in Russian). DOI 10.21667/1995-4565-2018-65-3-136-142.

8. **Vinogradov I.** *Nositelej koronavirusa budet vyavlyat' «elektronnyj nos»*. Text: electronic – URL: <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2020/10/04/842054-nositelei-koronavirusa> (in Russian).

9. *Borot'sya s koronavirusom pomogut «elektronnye nosy»*. Interv'yu Germana SHipulina «Ros-sijskoj gazete». Text: electronic – URL: <https://www.cspfmba.ru/smi/18276/> (in Russian).

10. **Morozov A. V., Murakhovsky I. A., Kapustin A. S., Kuchmenko T. A., Menzhulina D. A.** Trekery zdorov'ya i programmnoe obespechenie k nim - shag k personalizacii i partisipativnosti monitoringa zdorov'ya. *Himicheskie problemy sovremenности 2022: sbornik materialov VI Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh*. Doneck, 17-19 maya 2022 goda / Redkollegiya: A.V. Belyj (otv. red.) [i dr.]. – Doneck: Doneckij nacional'nyj universitet. 2022, pp. 313-315. (in Russian).

11. **T. A. Kuchmenko, A. A. Shuba, D. A. Menzhulina [et al.]** K voprosu o korrelyacii rezul'tatov analiza bioprob detej standartnymi metodami i massivom p'ezosensirovanii v usloviyah stacionara. *Zhurnal analiticheskoj himii*. 2022, vol. 77, no. 3, pp. 269-281. (in Russian). DOI 10.31857/S004445022201008X.

12. **Plyuta V. A., Sidorova D. E., Zamil'skij G. B.** Vliyanie letuchih organicheskikh soedinenij, sintetizirovannykh bakteriyami, na ekspressiyu s promotorov genov zntA, copA i arsR, induciruemyh v otvet na dejstvie medi, cinka i mysh'yaka. *Molekulyarnaya genetika, mikrobiologiya i virusologiya*. 2020, vol. 38, no. 3, pp. 128-135. DOI 10.17116/molgen202038031128.

13. Patent no. 2761165 C1 Russian Federation, IPC G01N 1/28, G01N 33/36. *Sposob ekspress-nogo instrumental'nogo ustanovleniya autentichnosti zapaha cheloveka i odezhdy* (The method of express instrumental establishment of the authenticity of the smell of a person and clothing). No. 2021101323: Appl. 01/22/2021: publ. 06.12.2021 / T. A. Kuchmenko, D. A. Menzhulina; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Engineering Technologies».

14. **Kuchmenko T.A., Dorovskaya E.S., Umarmhanov R.U., Krylov V.V., Smetankina A.V., Menzhulina D.A., Bitjukova V.V.** Portable electronic nose system for fast gynecological-conditions diagnosis in consulting room: A case study. *Sensors and Actuators: B. Chemical*. 2022, vol. 358, pp. 131538.

15. **Kuchmenko T.A., Umarmhanov R.U., Menzhulina D.A.** Biohydroxyapatite is a new phase for the selective micro weighing of organic compound vapours – markers of inflammation in the nasal mucus of calves and humans, Report 1. *Sorption in model systems, Sorpt. Chromatogr. Process*, 2021.

16. **Kuchmenko T.A., Dorovskaya E. S., Bosikova Yu. N., Smetankina A. V., Bitjukova V. V.** Application of an Electronic Nose Based on Piezoelectric Sensors for Scanning Volatile Compounds of Gynecological Tests. *Journal of Analytical Chemistry*. 2021, vol. 76, no. 7, pp. 868-880.

17. *Voronezhskie otkrytiya: chto sozdali uchenye regiona. Elektronnyj «nos» dlya diagnostiki boleznej*. Text: electronic – URL: <https://riavr.ru/stories/voronezhskie-otkrytiya-chto-sozdali-uchenye-regiona-elektronnyj-nos-dlya-diagnostiki-boleznej/>. (in Russian).

18. **Tsentalovich Yu., Zelentsova E., Melnikov A., Snytnikova O., Yanshole V., Yanshole L.** Metabolom – molekulyarnoe «zerkalo» zhizni. *Nauka iz pervyh ruk*. 2019, no. 5/6(85). (in Russian).

19. **Kuchmenko T. A., Murakhovsky I. A., Menzhulina D. A.** *Programma «Nealth by smell of skin (hsmellsoft)» dlya fiksirovaniya, rascheta, predstavleniya i opisaniya dannyh odnosensornogo gadzheta* (The program «Health by smell of skin (hsmellsoft)» for recording, calculating, presenting and describing the data of a single-sensor gadget). Certificate of registration of the computer program 2021662698, 03.08.2021. Application No. 2021616688 dated 04/29/2021.

20. **Korobova L.A., Tolstova I.S., Matytsina I.A., Mironova M.S.** Prototype mobile application definitions fresh products based on neural network. *Journal of Physics: Conference Series : Current Problems*, Voronezh, 07-09 December 2020. Voronezh. 2021. pp. 012118. DOI 10.1088/1742-6596/1902/1/012118.

21. **Korobova L. A., Malienko E. S., Safonova Yu. A.** Matematicheskaya model', algoritm i programmaya realizaciya ekspertnoj sistemy pervichnoj medicinskoj diagnostiki chasto vstrechayushchihsy zabolevanij. *Informacionnye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya*. 2018, vol. 112, no. 4, pp. 301-307. (in Russian).

22. **Kuchmenko T. A., Dorovskaya E. S., Bosikova Yu. N.** Primenenie «elektronnogo nosa» na p'ezosensirovanii dlya skanirovaniya letuchih soedinenij ginekologicheskikh prob. *Zhurnal analiticheskoj himii*. 2021, vol. 76, no. 7, pp. 634-647. (in Russian). DOI 10.31857/S0044450221070069.