

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041046**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.08.31

(51) Int. Cl. *A61B 7/04* (2006.01)
G16H 50/20 (2018.01)

(21) Номер заявки
201800377

(22) Дата подачи заявки
2018.05.29

(54) **СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ И СИСТЕМА ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ**

(43) **2019.12.30**

**Нарушевич Юлия Юрьевна,
Дубинецкий Виталий Валерьевич
(BY)**

(96) **2018/EA/0044 (BY) 2018.05.29**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ПТ "ХЭЛСИ НЭТВОРКС" (EE)

(74) Представитель:
Горячко М.Ш. (BY)

(72) Изобретатель:
**Каранкевич Алексей Александрович,
Бинецкая Елена Александровна,
Зябко Максим Николаевич,**

(56) **US-A1-20070276278
WO-A1-2017029317
RU-C1-2038041
RU-C1-2354285**

(57) Изобретение относится к медицине, а именно к пульмонологии, и предназначено для определения респираторных расстройств и мониторинга состояния легких и может быть использовано как в домашних условиях пациентом, так и врачом на рабочем месте в медицинском учреждении или при телемедицине. Способ диагностики заболеваний органов дыхания включает в себя следующие этапы: записывают аудиосигнал, оцифрованный с помощью импульсно-кодовой модуляции и сохраняют в формате импульсно-кодовой модуляции на записывающее устройство в блоке забора сигнала; формируют и ранжируют ответы на вопросы периодического либо диагностического опросника о состоянии здоровья; осуществляют подавление шума, частотную фильтрацию и построение частотно-временного представления путем расчета мел-спектра и мел-частотных кепстральных коэффициентов; осуществляют классификационную оценку дыхательного шума при помощи алгоритмов машинного обучения нейронной сети, результатом которой является вероятность отнесения дыхательного шума в один из пяти классов: нормальное дыхание, сухие свистящие хрипы, сухие басовые хрипы, влажные хрипы, крепитация; осуществляют разбиение исходного сигнала на фазы вдохов и выдохов, а также на временные периоды, в которых был зафиксирован характерный дыхательный шум; формируют итоговую оценку состояния респираторного здоровья пациента с учетом классификационной оценки дыхательного шума, ответов на вопросы диагностического и периодического опросника, а также продолжительности фаз вдоха и выдоха; предоставляют результаты работы экспертной системы с помощью блока предоставления и визуализации информации. Предложен доступный и дешевый способ автоматического определения и мониторинга респираторных заболеваний, который, с одной стороны, может использоваться пациентом в домашних условиях, что призвано повысить уровень жизни людей с респираторными, в частности с хроническими, заболеваниями, за счет раннего определения ухудшения здоровья легких; с другой стороны, призван снизить время приема пациента в медицинском учреждении и расходы на обслуживание пациента, за счет имеющейся истории респираторного состояния, а также предупреждения случаев необоснованного обращения либо наоборот, своевременного обращения до обострения болезни.

041046 B1

041046 B1

Изобретение относится к медицине, а именно к пульмонологии, и предназначено для определения респираторных расстройств и мониторинга состояния легких и может быть использовано как в домашних условиях пациентом, так и врачом на рабочем месте в медицинском учреждении или при телемедицине.

Известны и широко применяются в клинической практике акустические способы диагностики изменений в легких человека, основанные на субъективном выслушивании возникающих в легких звуковых явлений - аускультации легких.

Аускультация легких осуществляется путем прикладывания к поверхности грудной клетки инструмента для выслушивания.

При том известны методики аускультации как собственно звуков дыхания [1], так и оценка сравнительного проведения звука голоса с гортани по воздушному столбу бронхов на поверхность грудной клетки. Известен способ акустической диагностики очаговых изменений в легких человека - способ определения бронхофонии [2], заключающийся в регистрации и сравнительной оценке амплитуд проведенного звука голоса на поверхности грудной клетки в симметрично расположенных точках обследования, справа и слева. При этом улучшается точность оценки акустических параметров. Однако используемые для сравнения амплитудные параметры проведенных голосовых звуков справа и слева не полностью отражают особенности распространения звуков в системе дыхания, поэтому недостаток, связанный с недостаточной эффективностью выявления очаговых патологических изменений, сохраняется и для аналога.

Наиболее близким аналогом является способ и реализующая его система диагностики заболеваний органов дыхания [3], содержащая связанные последовательно блок забора сигнала для записи аудиосигнала дыхательных шумов с инструментом для аускультации, подсистему предварительной обработки аудиосигнала, а также подсистему автоматической классификации дыхательных шумов и подсистему определения фаз дыхания на основе алгоритма обнаружения голосовой активности, блок обработки данных и блок предоставления и визуализации информации. В качестве оцениваемых характеристик проведенного на поверхность грудной клетки звука голоса используют амплитуды и частоты первого (A_1, f_1), второго (A_2, f_2), третьего (A_3, f_3) спектральных максимумов, расположенных на гармонически связанных частотах и имеющих уровень не ниже 60 дБ от уровня первого максимума, затем вычисляют отношения A_{12}/f_{12} , равное отношению $(A_1 - A_2) / (f_2 - f_1)$, A_{23}/f_{32} , равное $(A_2 - A_3) / (f_3 - f_2)$, разность ΔA_{12} величин A_1 и A_2 над симметричными точками обследования справа (D) и слева (S), при этом сравнение полученных величин проводят с соответствующими пороговыми значениями для данного типа заболевания.

Способ позволяет проводить диагностику патологических очаговых нарушений в легких человека за счет выявления новых, более информативных, объективно и автоматически оцениваемых характеристик проведенного на поверхность грудной клетки звука голоса, обладающих высокой дискриминирующей способностью.

Ключевой недостаток прототипа заключается в том, что любой забор аудиосигнала чувствителен к шуму или посторонним действиям, например, если пациент случайно постучит по мембране, или рядом с пациентом будет играть музыка, или громко разговаривать люди, то это сформирует неправильный сигнал, дыхательные шумы из которого извлечь не представляется возможным.

Кроме того, недостатком прототипа является необходимость госпитализации и врачебного осмотра для его реализации из-за отсутствия простого личного инструмента мониторинга респираторного здоровья, отсутствие продолжительной истории болезни, если человек долго не обращался или обращался, но в другие места, и отсутствие возможности удаленно посмотреть состояние пациента, послушать его записи и предупредить об опасности или пригласить на прием.

Задачей настоящего изобретения является создание простых, доступных и шумозащищенных личных способа и системы диагностики заболеваний органов дыхания, обеспечивающих мониторинг респираторного здоровья, составление и поддержание продолжительной истории болезни, возможность для врача удаленно посмотреть состояние пациента, послушать записи его аускультации и предупредить об опасности или пригласить на прием.

Поставленная задача решена в способе диагностики заболеваний органов дыхания, включающем в себя следующие этапы:

посредством блока забора сигнала для записи аудиосигнала дыхательных шумов с инструментом для аускультации записывают аудиосигнал, оцифрованный с помощью импульсно-кодовой модуляции, и сохраняют в формате импульсно-кодовой модуляции (PCM) на записывающее устройство в блоке забора сигнала;

посредством подсистемы опросника формируют и ранжируют ответы на вопросы периодического либо диагностического опросника о состоянии здоровья;

посредством подсистемы предварительной обработки аудиосигнала осуществляют подавление шума, частотную фильтрацию и построение частотно-временного представления путем расчета мел-спектра и мел-частотных кепстральных коэффициентов;

посредством подсистемы автоматической классификации дыхательных шумов осуществляют классификационную оценку дыхательного шума при помощи алгоритмов машинного обучения нейронной

сети, результатом которой является вероятность отнесения дыхательного шума в один из пяти классов: нормальное дыхание, сухие свистящие хрипы, сухие басовые хрипы, влажные хрипы, крепитация;

посредством подсистемы определения фаз дыхания осуществляют разбиение исходного сигнала на фазы вдохов и выдохов, а также на временные периоды, в которых был зафиксирован характерный дыхательный шум;

посредством экспертной системы формируется итоговая оценка состояния респираторного здоровья пациента с учетом классификационной оценки дыхательного шума, ответов на вопросы диагностического и периодического опросника, а также продолжительности фаз вдоха и выдоха;

предоставляют результаты работы экспертной системы с помощью блока предоставления и визуализации информации.

Поставленная задача в системе для диагностики заболеваний органов дыхания, содержащей связанные последовательно блок забора сигнала для записи аудиосигнала дыхательных шумов с инструментом для аускультации, подсистему предварительной обработки аудиосигнала, а также подсистему автоматической классификации дыхательных шумов и подсистему определения фаз дыхания на основе алгоритма обнаружения голосовой активности, блок обработки данных и блок предоставления и визуализации информации, решена тем, что система дополнительно снабжена подсистемой опросника, блок обработки данных выполнен в виде экспертной системы, входы которой соединены с выходами всех подсистем, причем подсистема определения фаз дыхания выполнена для разбиения исходного аудиосигнала на фазы вдохов и выдохов, а также разметки временных интервалов, в которых был зафиксирован хрип, а подсистема автоматической классификации дыхательных шумов выполнена на основе алгоритмов машинного обучения с возможностью получения результата в виде набора вероятностей отнесения дыхательного шума в один из пяти классов: нормальное дыхание, сухие свистящие хрипы, сухие басовые хрипы, влажные хрипы, крепитация.

"Машинное обучение" является известной технологией и может осуществляться, например, как описано в патенте [4] или, в области техники, к которой относится изобретение - в статье [5].

Для машинного обучения в данном случае используют набор аудиосигналов дыхательных шумов, собранных врачами с заведомо больных людей, а также собранных со здоровых людей. Изначально собранные звуки легких проходят валидацию коллегией врачей, цель которой дать качественную оценку звука - отнести его в один из пяти классов (нормальное дыхание, сухие свистящие хрипы, сухие басовые хрипы, влажные хрипы, крепитация), таким образом формируя маркированный набор данных. Далее для каждого сигнала строят 128-разрядную логарифмическую мел-спектрограмму, сохраняя результат как цветное (RGB) изображение в формате PNG, эти изображения и служат исходными данными для обучения. В связи с ограниченным объемом обучающей выборки стандартные подходы в обучении глубоких моделей применить не представляется возможным, потому было принято решение использовать подход переноса обучения - transfer learning. За основу взяли сверточную нейронную сеть (CNN) как экстрактор признаков и рекуррентную нейронную сеть (RNN), заканчивающуюся одним полносвязным слоем (Fully connected layer) для получения результатов классификации в виде вероятности отнесения к одному из указанных выше классов.

В качестве экстрактора признаков (выше описано как CNN) используют модель Xception, RNN реализована на базе модели долгой краткосрочной памяти (LSTM). Модели обучают последовательно: сначала CNN, и лишь потом RNN. Обучают обе модели с использованием метода обратного распространения ошибки (backpropagation) В качестве функции потерь используется перекрестная энтропия, в качестве оптимизационного алгоритма для RNN используется Adam (adaptive moment estimation), для CNN используется RMSprop. Таким образом, задачу распознавания звука приводят к задаче распознавания изображения (спектрограммы), и решают ее, используя модель, изначально обученную на наборе данных ImageNet, дообучая ее имеющимися данными - так реализуется подход переноса обучения. По окончании обучения выполняют тестирование технологии с целью определения точности обученной нейронной сети, когда берут 500 записей, прогоняют через получившуюся систему и сравнивают результат классификации с эталоном, полученным от врачей.

На сервере обученная модель (нейронная сеть) постоянно загружена в оперативную память, все запросы, приходящие на сервер извне, обученная модель обрабатывает и выдает вышеописанный результат. Экспертная система не требует вмешательства человека, она так называется, потому что использует те же методы принятия решения, что и эксперты, грубо говоря, потому что построена экспертами для выполнения тех же действий.

Настоящее изобретение представлено на неограничивающих чертежах, на которых:

на фиг. 1 представлена блок-схема примера реализации заявленной системы;

на фиг. 2-4 представлен пример размещения точек аускультации;

на фиг. 5-9 представлены примеры спектрограмм исходных данных для пяти классов звуков легких (сухие свистящие хрипы, сухие басовые хрипы, влажные хрипы, крепитация, нормальное дыхание соответственно);

на фиг. 10 представлен пример визуализации разметки амплитудно-временного представления сигнала;

на фиг. 11 представлен пример алгоритма работы подсистемы определения фаз дыхания;
на фиг. 12 представлен пример визуализации результата обследования для пациента;
на фиг. 13 представлен пример визуализации результата обследования для врача.

Заявленная система, представленная на фиг. 1 содержит связанные последовательно блок 101 забора сигнала для записи аудиосигнала дыхательных шумов с инструментом 102 для аускультации, подсистему 103 предварительной обработки аудиосигнала, а также подсистему 104 автоматической классификации дыхательных шумов и подсистему 105 определения фаз дыхания на основе алгоритма обнаружения голосовой активности, подсистему опросника, состоящую в данном примере из подсистемы 106 диагностического опросника и подсистемы 107 периодического опросника. Блок обработки данных выполнен в виде экспертной системы 108, входы которой соединены с выходами всех подсистем. Имеется также блок 109 предоставления и визуализации информации, вход которого соединен с выходом экспертной системы 108.

Вся обработка находится на сервере, блок визуализации есть у врача на персональном компьютере и у пациента на смартфоне, сбор данных осуществляется на смартфоне.

Инструмент 102 для аускультации может быть выполнен в виде электронного стетоскопа с Bluetooth-модулем, включающего в себя аналогово-цифровую преобразователь и Bluetooth-передатчик для передачи данных на блок обработки данных и батарею, обеспечивающей питание Bluetooth-модуля и микрофонного усилителя; или в виде стетоскопа-насадки на смартфон.

Подсистема 103 предварительной обработки аудиосигнала использует алгоритмы из области цифровой обработки сигнала, а именно подавление шума с помощью прямого и обратного вейвлет-преобразования, частотную фильтрацию с помощью фильтра с конечной импульсной характеристикой (FIR-filter), нормализацию сигнала, устранение постоянного амплитудного смещения (DC offset) и построение частотно-временного представления, в частности расчет мел-спектрограммы, что необходимо для подготовки входных данных для алгоритма машинного обучения.

Подсистема 105 определения фаз дыхания осуществляет разбиение исходного аудиосигнала на фазы вдохов и выдохов, а также разбиение на периоды, в которых был зафиксирован хрип. Разбиение представляет собой набор временных интервалов, каждый элемент которого состоит из времени начала и времени конца обнаружения вдоха, выдоха либо хрипа. В основе подсистемы лежит алгоритм обнаружения голосовой активности. Подбор входных параметров для данного алгоритма, таких как верхняя и нижняя частоты в искомой голосовой активности осуществляют для каждого аудиосигнала индивидуально.

Наборы временных интервалов с фазами дыхания и хрипами в дальнейшем используются для визуальной разметки амплитудно-временного представления сигнала. Это отображается в блоке визуализации, у врача, выглядит примерно как на фиг. 10, а также для подсчета громкости и продолжительности. В качестве громкости используют максимальное значение на интервале (от -20db до -40db), продолжительность в миллисекундах (400-5000, иногда весь сигнал занимает вдох или выдох) каждого временного интервала для последующего использования в экспертной системе 108.

Подсистема 104 автоматической классификации дыхательного шума основана на алгоритмах глубинного машинного обучения, организованных как описано выше. Как указано выше, обученная модель (нейронная сеть) постоянно загружена в оперативную память сервера, все запросы, приходящие на сервер извне, обученная модель обрабатывает и выдает результат в виде набора вероятностей отнесения дыхательного шума в один из пяти классов: нормальное дыхание, сухие свистящие хрипы, сухие басовые хрипы, влажные хрипы, крепитация. Этот результат впоследствии используется экспертной системой.

Подсистема 106 диагностического опросника представляет собой перечень вопросов, предлагаемых для ответа пациенту, результаты ответов на которые используются в экспертной системе. Существует несколько типов вопросов по характеру ответа: одиночный выбор ответа, выбор нескольких вариантов ответа и числовой ввод. Все ответы имеют свой вес, который влияет на итоговое решение, принимаемое экспертной системой. Диагностический опросник предлагается пациенту для определения его текущего состояния респираторного здоровья с целью получения информации о наиболее вероятных отклонениях в нем. Пример диагностического опросника приведен в приложении 1.

Что касается подсистемы 107 периодического опросника, периодический опросник по своей сути аналогичен диагностическому, за исключением того, что предлагается для постоянного мониторинга респираторного здоровья и содержит вопросы, нацеленные на ввод постоянно меняющихся параметров для случая конкретного пациента, так как набор параметров для разных заболеваний, выявленных пациентом ранее, могут существенно отличаться. Пример периодического опросника для астматиков - приложение 2, для больных хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) - приложение 3, пневмонией - приложение 4, бронхитом - приложение 5.

Экспертная система 108 принимает на свой вход информацию из вышеописанных подсистем: результат автоматической классификации дыхательного шума, наборы временных интервалов, содержащие фазы дыхания и хрипы, ответы на диагностический и/или периодический опросник. Целью экспертной системы 108 является агрегация данных из всех подсистем с целью принятия итогового решения о наиболее вероятном отклонении в респираторном здоровье и его возможном изменении в лучшую или худ-

шую сторону. Обработка всех данных носит экспертный характер: для каждого респираторного заболевания есть свои ветви принятия решений об отнесении текущего набора данных к определенному заболеванию, которые включают в себя все возможные комбинации ответов на вопросы опросника и результаты автоматической классификации дыхательного шума.

Блок 109 предоставления и визуализации информации может быть выполнен разделенным на две части: для лечащего врача (фиг. 7) и для пациента (фиг. 8).

Пациент, периодически записывая аудиосигналы с инструмента 102, получает доступ к визуализированной статистике о его состоянии здоровья, которая встроена в мобильное приложение, например, на платформе ANDROID и основана на результатах работы экспертной системы 108. Мобильное приложение нужно для сбора аудиосигналов дыхательных шумов с помощью электронного стетоскопа, для ввода ответов на диагностический и периодический опросники, для ведения статистики - это как раз то, что касается блока визуализации, пример такой визуализации показан на фиг. 12. Визуализированная статистика, представленная на фиг. 12 имеет несколько зон, обозначенных в данном примере, буквами латинского алфавита от А до D, где А - графики динамики симптомов и график максимальной скорости выдоха (пик флюу), В - результаты автоматического анализа дыхательных шумов с автоматическим резюме, С - персонализированная статистика на базе истории измерений и их результатов, D - автоматическая рекомендация. Пациент получает ссылку на свою карточку на сайте, чтобы, при необходимости, передать ее другому врачу, а также получает уведомления от врача в случае срочной необходимости обращения к нему.

Врач получает доступ к статистике о состоянии респираторного здоровья пациента через удаленный веб-сайт, отображаемый на персональном компьютере или на мобильном устройстве, с возможностью организовать сеанс связи между врачом и пациентом в случае необходимости. Пример данных, получаемых врачом, представлен на фиг. 13. Данные также распределены по зонам, обозначенным, в данном примере, буквами латинского алфавита от Е до К, где Е - гипотеза нейронной сети о возможном заболевании пользователя, основанная на аускультации, результатах диагностического опросника и предыдущей истории его состояния, F - результат последней аускультации пользователя с указанием точек, в которых были зафиксированы хрипы, G - ответы пользователя на опросник (за один выбранный день), H - график состояния пользователя (основанный на аускультации), J - опасные симптомы, выявленные в ходе прохождения пользователем опросника (ежедневного, еженедельного либо диагностического), за один выбранный день, K - симптомы, выявленные в ходе прохождения пользователем опросника (ежедневного, еженедельного либо диагностического), за один выбранный день.

Заявленный способ основан на записи аудиосигналов дыхательных шумов с последующим анализом временно-частотных характеристик сигналов и позволяет классифицировать дыхательные шумы, а также осуществлять мониторинг состояния здоровья пациента.

Способ осуществляют следующим образом.

Электронный стетоскоп плотно прикладывают мембраной к телу пациента. Точки приложения совпадают с таковыми при аускультации, производимой врачом при осмотре. Точки приложения располагаются как на груди и спине, так и на боку пациента для покрытия всех отделов легких. В условия записи входит наличие в аудиосигнале хотя бы одной фазы дыхания - вдоха или выдоха пациента, так как именно в эти моменты времени обнаруживаются дыхательные шумы. Схему с местоположением и указанием очередности точек приложения отображают при этом на пользовательском интерфейсе смартфона пациента. На фиг. 2, 3, 4 показаны точки аускультации на передней, боковой и задней поверхностях грудной клетки пациента. При этом порядок номеров точек от 1 до 15 соответствует предпочтительной последовательности выбора точек аускультации.

Запись дыхательных шумов с каждой точки приложения к телу происходит по одинаковому сценарию: электронный стетоскоп 102 соединяется со смартфоном пациента с помощью технологии Bluetooth и начинается запись пятисекундного аудиосигнала с частотой дискретизации 8кГц (ограничивается используемым в электронном стетоскопе микрофоном) в формате импульсно-кодовой модуляции с последующим сохранением на устройство хранения информации смартфона пациента. В случае обнаружения патологических дыхательных шумов пациенту может быть предложено провести аускультацию и запись в 2-3 точках рядом с точкой, в которой был обнаружен патологический дыхательный шум: это действие нужно для подтверждения впервые найденного шума.

Это касается всех шагов: собранный звук загружается на сервер, там система классификации решает, есть в нем патология или нет, возвращает ответ мобильному устройству, и оно проверяет, стоит ли предлагать пациенту запись дополнительных точек, таким образом, анализ звука происходит на сервере с помощью системы классификации.

В случае использования стетоскопа-насадки Bluetooth-соединение не осуществляют, а за запись аудиосигнала отвечает встроенный в смартфон микрофон, насадка-стетоскоп лишь направляет звук в него с помощью воронки. Вместе с записью сигнала пациент может пройти периодический или диагностический опросник о состоянии здоровья, также доступный из пользовательского интерфейса мобильного приложения, который призван помочь в мониторинге или определении состояния здоровья, так как одинаковые дыхательные шумы могут быть характерны для различных заболеваний, и чтобы с большей точностью определить настоящее отклонение, может быть необходимо задавать дополнительные вопросы.

Вопросники содержат в себе вопросы об общем состоянии здоровья, наличии либо отсутствии патологических симптомов и вопросы с количественной характеристикой, такие как температура или СОЭ. Далее ответы на вопросы периодического либо диагностического опросника о состоянии здоровья и файлы записанных аудиосигналов дыхательных шумов передают на удаленный сервер для обработки с целью получения классификационной оценки типа дыхательного шума, а также выдачи рекомендации и сохранения собранных данных для ведения истории болезни.

Обработка включает в себя несколько этапов:

этап предобработки аудиосигнала, а именно подавление шума и построение частотно-временного представления, в частности расчет мел-спектра и мел-частотных кепстральных коэффициентов, что необходимо для подготовки входных данных для алгоритма машинного обучения, а также аугментации предобработанных данных;

этап определения фаз дыхания (на фиг. 11 представлен пример алгоритма) включает в себя разметку амплитудно-временной характеристики на фазы дыхания (вдохи и выдохи) и хрипы (в случае, если хрип имел место), обнаруженные на этих фазах, осуществляются, например, следующим образом:

1) получают исходный сигнал из импульсно-кодированного модулированного (амплитудно-временное представление). В основе лежит предположение, что впадины на форме сигнала соответствуют паузам между вдохами и выдохами;

2) сжимают его в несколько раз (из 212000 точек до приблизительно 2500);

3) аппроксимируют, сглаживая и убирая мелкие впадины;

4) далее выделяют все впадины, которые ниже порогового значения (квантиль 0,02, т.е. только 2% точек на графике ниже);

5) удаляют короткие сегменты/фазы, удаляют все, что короче 30% от средней ширины сегментов/фаз;

6) оставшиеся интервалы считают фазами дыхания, используя предположение, что за вдохом следует выдох.

Алгоритмы аппроксимации давно и широко известны, результатом является фиг. 10 с разметкой, благодаря которой на временной шкале выделены области, где были зафиксированы вдох, выдох и хрип. Показана также амплитудно-частотная характеристика зафиксированных звуков;

этап классификационной оценки дыхательного шума при помощи алгоритмов машинного обучения нейронной сети, результатом которого является вероятность отнесения дыхательного шума в один из классов хрипов или в класс здорового дыхания (хрипы отсутствуют);

этап работы экспертной системы с периодическим опросником, которая призвана дать итоговую оценку состояния здоровья пациента с учетом автоматической классификации дыхательных шумов.

Неограничивающий пример реализации заявленного способа в заявленной системе приведен ниже.

Пример.

Пациент, с установленным в отделении диагнозом ХОБЛ, проходит диагностический опросник согласно, например, приложению 1.

Из ответов мы узнаем о нем следующее:

болезнь начиналась с кашля;

температура не повышена;

кашель влажный, постоянный, длится несколько лет;

мокроты много;

бывает одышка;

слабости нет;

боли в груди нет;

нет озноба, потоотделения;

есть проблемы с желудком;

анализ крови в течение последних нескольких дней не сдавал;

курит, давно;

есть аллергия на пыльцу и пыль;

Далее пациент проходит аускультацию.

На входы экспертной системы подаются данные опросника, аускультации, информация из профиля пациента, учитывая при этом сезонность болезней. Для весенне-летнего периода характерны обострения аллергической астмы, а для сырого времени года - пневмонии и обострения ХОБЛ. В своем профиле в мобильном приложении пациент указывает свои хронические заболевания, так что система может учитывать ожидаемые проблемы, например, если время года сырое и у человека в профиле стоит ХОБЛ, при этом обнаружены влажные хрипы - это послужит сигналом срочной отправки его к врачу. Экспертная система проводит анализ по каждой болезни (вероятность наличия каждого заболевания в отдельности). На основании ответов на опросник и аускультации (в некоторых отделах легких обнаружены сухие базовые хрипы), экспертная система определяет, что велика вероятность наличия ХОБЛ.

После этого, результаты анализа аудиосигналов и прохождения периодического опросника становятся доступны как пациенту, так и лечащему врачу. Пациент получает рекомендацию о своем текущем

состоянии здоровья с пользовательского интерфейса мобильного приложения, причем рекомендация генерируется автоматически на сервере, с него же и приходит в мобильное приложение пациента, а также может следить за динамикой улучшения и ухудшения респираторного здоровья. Статистику надо пополнять, так что пациент может проходить новые опросники (например, для ХОБЛ - согласно приложению 3) и аускультации и будет получать обновленную статистику. Врач также получает детальную статистику о состоянии пациента, но кроме этого получает возможность прослушать аудиосигналы дыхательных шумов самостоятельно, в случае сомнений в корректности результатов автоматической классификации дыхательного шума и/или визуальной разметки. Когда пациент отправляет данные на сервер с мобильного приложения, сохраняя их в базу данных, откуда они становятся доступны авторизованному врачу с веб-сайта, с него же он может их прослушать, а также ознакомиться с результатами автоматической классификации дыхательного шума. Однажды проделав вышеописанную процедуру, врач и пациент могут связываться друг с другом по обоюдной инициативе.

Практическая значимость разработки заключается в том, что предлагается доступный и дешевый метод автоматического определения и мониторинга респираторных заболеваний, который, с одной стороны, может использоваться пациентом в домашних условиях, что призвано повысить уровень жизни людей с респираторными, в частности, с хроническими заболеваниями, за счет раннего определения ухудшения здоровья легких; с другой стороны, призван снизить время приема пациента в медицинском учреждении и расходы на обслуживание пациента, за счет имеющейся истории респираторного состояния, а также предупреждения случаев необоснованного обращения либо наоборот, своевременного обращения до обострения болезни.

В заявленной системе и способе достигнуто создание программно-аппаратного комплекса для домашнего использования, высокая точность алгоритма автоматического определения типа дыхательных шумов (около 80%), что в сочетании с врачебным осмотром, позволяет практически исключить человеческий фактор при диагностике респираторного заболевания.

Алгоритм автоматического определения типа дыхательного шума имеет новизну, заключающуюся в адаптации известных подходов в машинном обучении к узкой задаче классификации респираторных шумов: адаптация обоснована ограниченным объемом базы данных аудиосигналов респираторных шумов и их специфичностью, и заключается в использовании подходящей архитектуры нейронных сетей и подхода переноса обучения (transfer learning) в процессе обучения.

Источники информации.

- 1) Патент России № 2354285, опубл. 10.05.2009.
- 2) Патент СССР № 1777560, опубл. 23.11.1992.
- 3) Патент России № 2304928, опубл. 27.08.2007 (прототип).
- 4) Патент США № 7,149,347, опубл. 12.12.2006.
- 5) A. Kandaswamy et al., Neural classification of lung sounds using wavelet coefficients. Computers in Biology and Medicine 34 (2004) 523-537.

Приложение 1.

- 1) Есть ли у вас хронические заболевания органов дыхания:
нет;*/астма/ХОБЛ/иное.
- 2) На что жалуетесь:
кашель/дискомфорт в груди/одышка/температура/боль в горле/насморк/расстройство пищеварения/слабость.
- 3) С чего началось заболевание:
кашель/боль в горле/температура/слабость/головная боль/насморк/одышка/расстройство пищеварения.
- 4) Оцените как быстро происходило нарастание симптомов в начале заболевания:
очень быстро (за часы)/быстро (в течение 1-2 дней)/постепенно (в течение нескольких дней)/медленно (в течение недели и более).
- 5) Температура:
какая сейчас: не повышена/повышена, до 38/выше 38;
длительность: в течение дня/2 дня/3 дня/4 дня/5 дней/6 и более;
как изменилась за время болезни: остается на одном уровне/было плохо, стало ОК, потом снова плохо/было ОК, стало плохо/было плохо, стало ОК;
после приема жаропонижающих температура снизилась (если температура выше 38): да, надолго/да, но только на пару часов и/или незначительно/нет/не принимали лекарство;
озноб (если температура выше 38): есть/нет.
- Испытываете ли вы повышенное потоотделение (при подозрении на, грипп или пневмонию бактериальную):
да/нет.
- 6) Охарактеризуйте свой кашель:
сухой/с мокротой;
неконтролируемый/приступообразный/эпизодический/постоянный.

Как долго вы кашляете:

меньше двух недель/меньше месяца/несколько месяцев/более года.

Изменился ли характер кашля после того, как вам стало хуже:

нет/уменьшился/усилился/был сухой, стал с мокротой.

Охарактеризуйте мокроту (если выше отмечен кашель с мокротой):

легко отделяемая/трудно отделяемая;

бесцветная/белая/желтая/зеленая/с красными прожилками (прожилки могут быть везде);

скудное количество/умеренное количество.

Изменился ли характер мокроты после того, как вам стало хуже:

нет/стала гуще (тяжело отделяемая)/стала цветной/стало больше/стало меньше.

7) Одышка.

Охарактеризуйте скорость развития одышки:

развивается за минуты/нарастает постепенно в течение дня или более.

Присутствует ли одышка при обычной для вас физической нагрузке:

да/нет.

Возникает ли затрудненное дыхание ночью:

да/нет (при подозрении на астму).

Когда начали испытывать одышку:

более года назад/месяц назад/в течение недели/сегодня.

Изменилась ли выраженность одышки с момента начала заболевания:

усилилась/уменьшилась/остается прежней.

Изменилось ли количество эпизодов одышки с момента начала заболевания (если она острая, а не постоянная):

увеличилось/уменьшилось/остается прежним.

8) Испытываете ли вы свистящее дыхание (подозрение на астму или ХОБЛ):

да/нет.

9) Охарактеризуйте выраженность слабости:

низкая (усталость)/умеренная/высокая.

10) Охарактеризуйте выраженность дискомфорта в груди:

низкая/умеренная/высокая.

11) Испытываете ли вы какие-либо из перечисленных симптомов простуды:

насморк/боль в горле/чихание/заложенность носа.

12) Испытываете ли вы какие-либо из перечисленных симптомов интоксикации:

боль в мышцах/боль в суставах/головная боль.

Насколько выражена эта боль:

слабо/умеренно/сильно.

13) Какие вы испытываете проблемы с пищеварением (если было указано в начале про расстройство пищеварения):

тошнота/рвота/диарея.

Сколько дней испытываете симптомы:

1-2 дня/неделя/больше (однозначно причина не в легочной инфекции).

14) Обратите внимание на цвет своей кожи, оттенок губ и ногтей?

Можно ли назвать его бледным и/или синюшным (при подозрении на ХОБЛ, пневмонию типичную и атипичную вирусную, бронхиты и грипп):

да/нет.

15) Не изменяя обычного дыхания, посчитайте количество вдохов за минуту, (ввод числа) (при подозрении на обострение астмы, ХОБЛ, вирусном бронхите, пневмонии типичной и атипичной вирусной).

16) Делали ли вы анализ крови за последние 5 дней:

да/нет.

Выберите подходящий промежуток (если да):

лейкоциты: до 4/4-9/10 и более;

СОЭ: мужчины: до 10/11 и более, женщины: до 15 /16 и более;

эозинофилы (при подозрении на астму): до 4/5 и более;

С-реактивный белок (при подозрении на ХОБЛ и все пневмонии): до 50/50 и более.

17) Курите (подозреваем бактериальный бронхит или ХОБЛ):

да/нет.

18) Можно ли отнести условия вашей работы к потенциально опасным для здоровья (если не знаем из профиля), где есть частый контакт с дымом, химическими средствами, инфекциями, аэрозолями, шерстью, пылью, красками и т.д.? (подозреваем особенно токсический бронхит, но также астму, ХОБЛ, бронхит бактериальный).

19) Есть ли у вас склонность к аллергическим реакциям (чихание, слезоточивость, насморк) на пыльцу, цветение трав, пыль и т.д.:

да/нет (при подозрении астмы).

20) Есть ли среди ваших родственников астматики:

да/нет (при подозрении астмы).

21) За последние 10-12 дней, контактировали ли вы с другим человеком с похожими симптомами:

да/нет (при подозрении атипичной вирусной пневмонии).

22) До начала симптомов, контактировали ли вы с агрессивными факторами внешней среды (дым на пожаре, бетонная пыль, покраска дома):

да/нет (при подозрении токсического бронхита).

23) Непосредственно до начала симптомов, был ли случай переохлаждения:

да/нет (при подозрении бронхита бактериального).

Приложение 2.

Периодический опросник по заболеванию АСТМА.

Когда впервые у Вас появились симптомы астмы?

В каком возрасте диагностировали астму?

Что ухудшает течение Вашей астмы:

аллергены: тараканы/пылевые клещи/плесень/животные/пыльца;

раздражители: сильные запахи/дым сигарет;

иное: респираторные инфекции/еда/физическая нагрузка/погода/стресс;

не знаю.

Используете пик флоу?

Если да: какое ваше максимальное значение (цифра):

Мешала ли астма выполнять обычный объем работы за (период опроса):

все время/очень часто/иногда/редко/никогда.

Испытывали ли затрудненное дыхание за (период опроса):

чаще, чем раз в день/раз в день/3-6 раз/1-2 раза/никогда.

Просыпались ли ночью или утром (раньше обычного) из-за симптомов астмы за (период опроса):

4 и более ночей/2-3 ночей/1 ночь/ни разу.

Как бы Вы оценили, насколько Вам удавалось контролировать астму за (период опроса):

совсем не удавалось/плохо/в некоторой степени/хорошо/полностью.

Использовали ли сегодня бронхолитик короткого действия/экстренное лекарство:

да/нет.

Испытывали ли сегодня новые или усиливающиеся симптомы (температура, кашель, боль в груди, насморк и т.д.):

да/нет.

Приняли ли сегодня лекарства базовой терапии:

да, полностью/да, частично/нет.

Данные пик флоу за сегодня:

утром.../вечером....

Приложение 3.

Периодический опросник по заболеванию ХОБЛ.

В каком возрасте диагностировали ХОБЛ?

Прибегаете ли к длительной оксигенотерапии:

да/нет.

Сколько используете литров в минуту (цифра)?

Сколько часов в среднем в день нужно использовать систему (цифра)?

Есть ли сопутствующая астма:

да/нет.

В среднем как часто за (период опроса) Вы испытывали:

одышку в состоянии покоя:

почти постоянно/очень часто/иногда/время от времени/иногда/совсем не испытываю;

одышку при физической работе:

почти постоянно/очень часто/иногда/время от времени/иногда/совсем не испытываю;

беспокойство, что Вы можете простудиться:

почти постоянно/очень часто/иногда/время от времени/иногда/совсем не испытываю;

подавленное настроение из-за проблем со здоровьем:

почти постоянно/очень часто/иногда/время от времени/иногда/совсем не испытываю.

Вы кашляли:

почти постоянно/очень часто/иногда/время от времени/иногда/совсем не испытываю.

У Вас выделялась мокрота:

почти постоянно/очень часто/иногда/время от времени/иногда/совсем не испытываю.

В среднем за (период опроса) насколько Вы были ограничены в следующих видах деятельности из-за проблем с дыханием:

тяжелые физические нагрузки:

совершенно ограничен(а)/крайне ограничен(а)/умеренно/немного/совсем не ограничен(а);

умеренные физические нагрузки:

совершенно ограничен(а)/крайне ограничен(а)/умеренно/немного/совсем не ограничен(а);

повседневные занятия дома:

совершенно ограничен(а)/крайне ограничен(а)/умеренно/немного/совсем не ограничен(а);

общение с людьми:

совершенно ограничен(а)/крайне ограничен(а)/умеренно/немного/совсем не ограничен(а).

Испытывали ли сегодня новые или усиливающиеся симптомы (температура, кашель, боль в груди, насморк и т.д.):

да/нет.

Приняли ли сегодня лекарства базовой терапии:

да, полностью/да, частично/нет.

Использовали ли сегодня бронхолитик короткого действия/экстренное лекарство:

да/нет.

Приложение 4.

Периодический опросник по пневмонии.

Как изменилось Ваше общее самочувствие с последнего ввода данных:

не изменилось/стало хуже/стало лучше.

Консультировались ли вы у врача насчет испытываемых симптомов:

да/нет.

Какой диагноз поставил врач:

пневмония (бактериальная)/пневмония (вирусная)/бронхит (бактериальный)/бронхит (вирусный)/грипп/ОРВИ.

В какие часы Вы принимаете антибиотик?

Приняли ли Вы все необходимые медикаменты сегодня?

Какая была максимальная температура тела с последнего ввода данных?

Изменился ли характер кашля с последнего ввода данных:

нет/уменьшился/усилился/был сухой, стал с мокротой.

Изменилась ли выраженность одышки с последнего ввода данных:

нет/усилилась/уменьшилась/остается прежней.

Изменился ли характер мокроты с последнего ввода данных:

нет/стала гуще/стала цветной/стало больше/стало меньше/появилось кровохарканье.

Охарактеризуйте характер слабости:

низкая/умеренная/высокая.

Охарактеризуйте выраженность дискомфорта в груди:

низкая/умеренная/высокая.

Делали общий анализ крови, если да, укажите:

лейкоцитоз/СОЭ.

Приложение 5.

Периодический опросник по бронхиту.

Как изменилось Ваше общее самочувствие с последнего ввода данных:

не изменилось/стало хуже/стало лучше.

Консультировались ли вы у врача насчет испытываемых симптомов:

да/нет.

Какой диагноз поставил врач:

пневмония (бактериальная)/пневмония (вирусная)/бронхит (бактериальный)/бронхит (вирусный)/грипп/ОРВИ.

В какие часы Вы принимаете антибактериальное средство?

Приняли ли Вы все необходимые медикаменты сегодня?

Изменился ли характер кашля с последнего ввода данных:

нет/уменьшился/усилился/был сухой, стал с мокротой.

Изменился ли характер мокроты с последнего ввода данных:

нет/стала гуще/стала цветной/стало больше/стало меньше/появилось кровохарканье.

Изменилась ли выраженность одышки с последнего ввода данных:

нет/усилилась/уменьшилась/остается прежней.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система для диагностики заболеваний органов дыхания, содержащая связанные последовательно блок забора сигнала для записи аудиосигнала дыхательных шумов с инструментом для аускультации, подсистему предварительной обработки аудиосигнала, а также подсистему автоматической классифика-

ции дыхательных шумов и подсистему определения фаз дыхания на основе алгоритма обнаружения голосовой активности, блок обработки данных и блок предоставления и визуализации информации, отличающаяся тем, что дополнительно снабжена подсистемой опросника, блок обработки данных выполнен в виде экспертной системы, входы которой соединены с выходами всех подсистем, причем подсистема определения фаз дыхания выполнена для разбиения исходного аудиосигнала на фазы вдохов и выдохов, а также разметки временных интервалов, в которых был зафиксирован хрип, а подсистема автоматической классификации дыхательных шумов выполнена на основе алгоритмов машинного обучения с возможностью получения результата в виде набора вероятностей отнесения дыхательного шума в один из пяти классов: нормальное дыхание, сухие свистящие хрипы, сухие басовые хрипы, влажные хрипы, крепитация.

2. Способ диагностики заболеваний органов дыхания, включающий в себя следующие этапы:

посредством блока забора сигнала для записи аудиосигнала дыхательных шумов с инструментом для аускультации записывают аудиосигнал, оцифрованный с помощью импульсно-кодовой модуляции, и сохраняют на записывающее устройство в формате РСМ в блоке забора сигнала;

посредством подсистемы опросника формируют и ранжируют ответы на вопросы периодического либо диагностического опросника о состоянии здоровья;

посредством подсистемы предварительной обработки аудиосигнала осуществляют подавление шума, частотную фильтрацию и построение частотно-временного представления путем расчета мел-спектра и мел-частотных кепстральных коэффициентов;

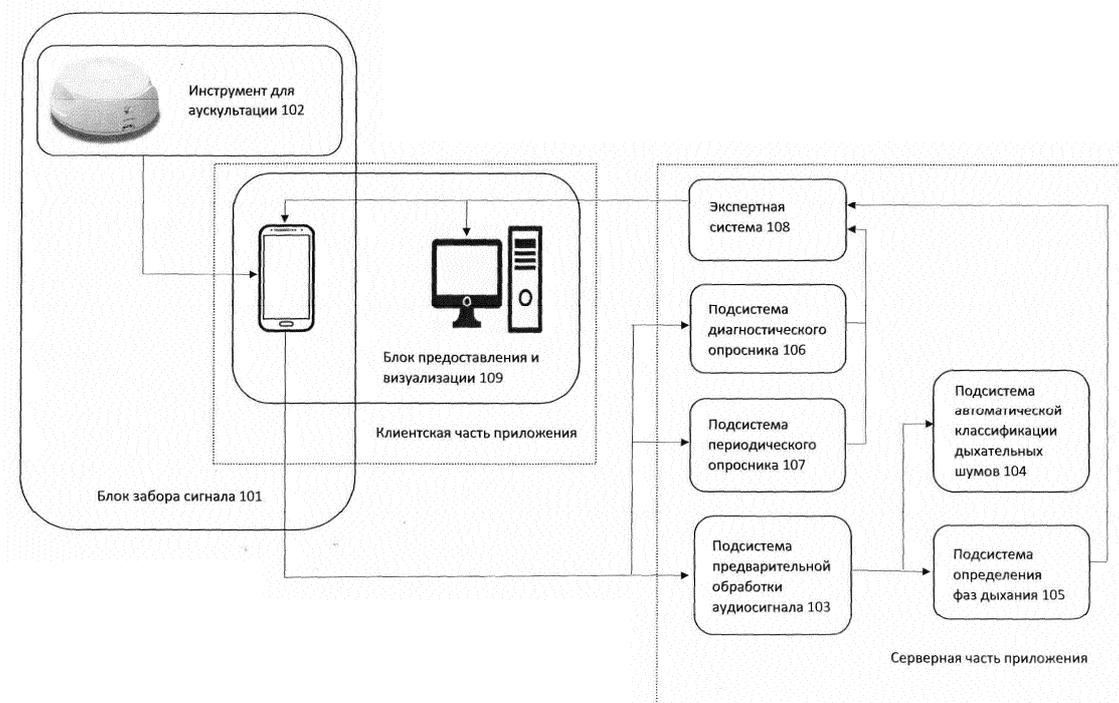
посредством подсистемы автоматической классификации дыхательных шумов осуществляют классификационную оценку дыхательного шума при помощи алгоритмов машинного обучения нейронной сети, результатом которой является вероятность отнесения дыхательного шума в один из пяти классов:

нормальное дыхание, сухие свистящие хрипы, сухие басовые хрипы, влажные хрипы, крепитация;

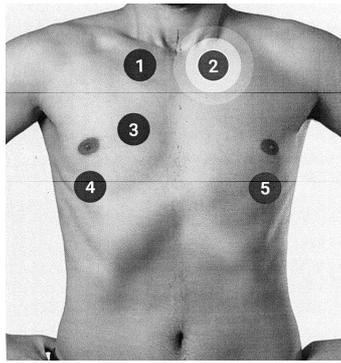
посредством подсистемы определения фаз дыхания осуществляют разбиение исходного сигнала на фазы вдохов и выдохов, а также на временные периоды, в которых был зафиксирован характерный дыхательный шум;

посредством экспертной системы формируется итоговая оценка состояния респираторного здоровья пациента с учетом классификационной оценки дыхательного шума, ответов на вопросы диагностического и периодического опросника, а также продолжительности фаз вдоха и выдоха;

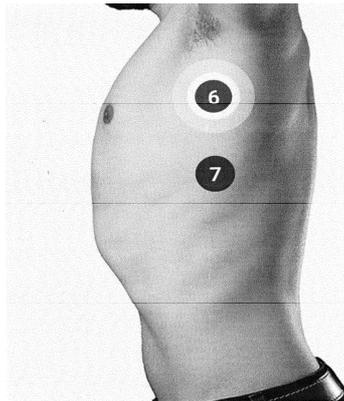
предоставляют результаты работы экспертной системы с помощью блока предоставления и визуализации информации.



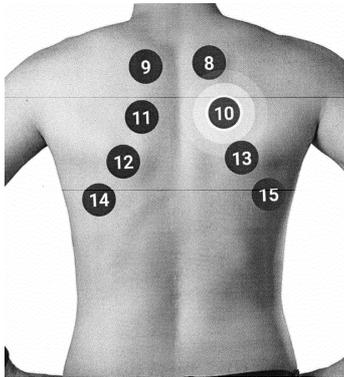
Фиг. 1



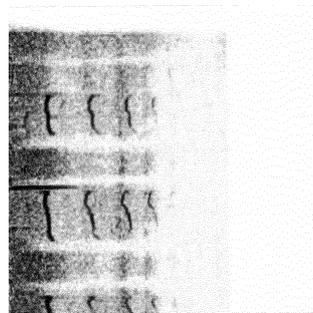
Фиг. 2



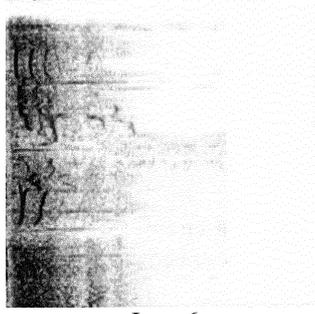
Фиг. 3



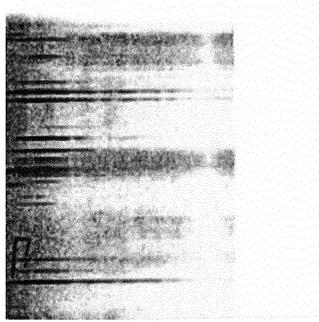
Фиг. 4



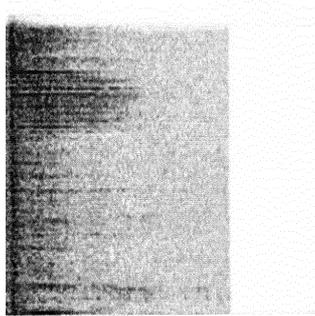
Фиг. 5



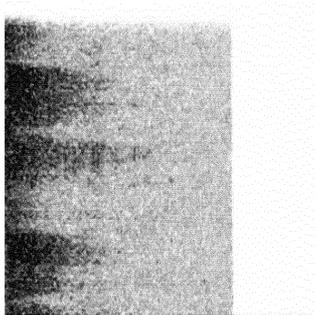
Фиг. 6



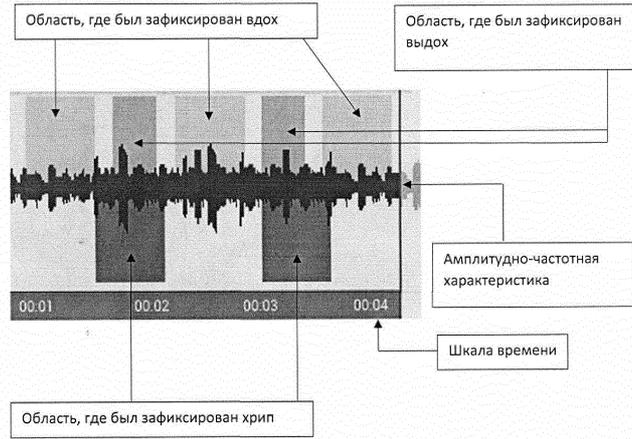
Фиг. 7



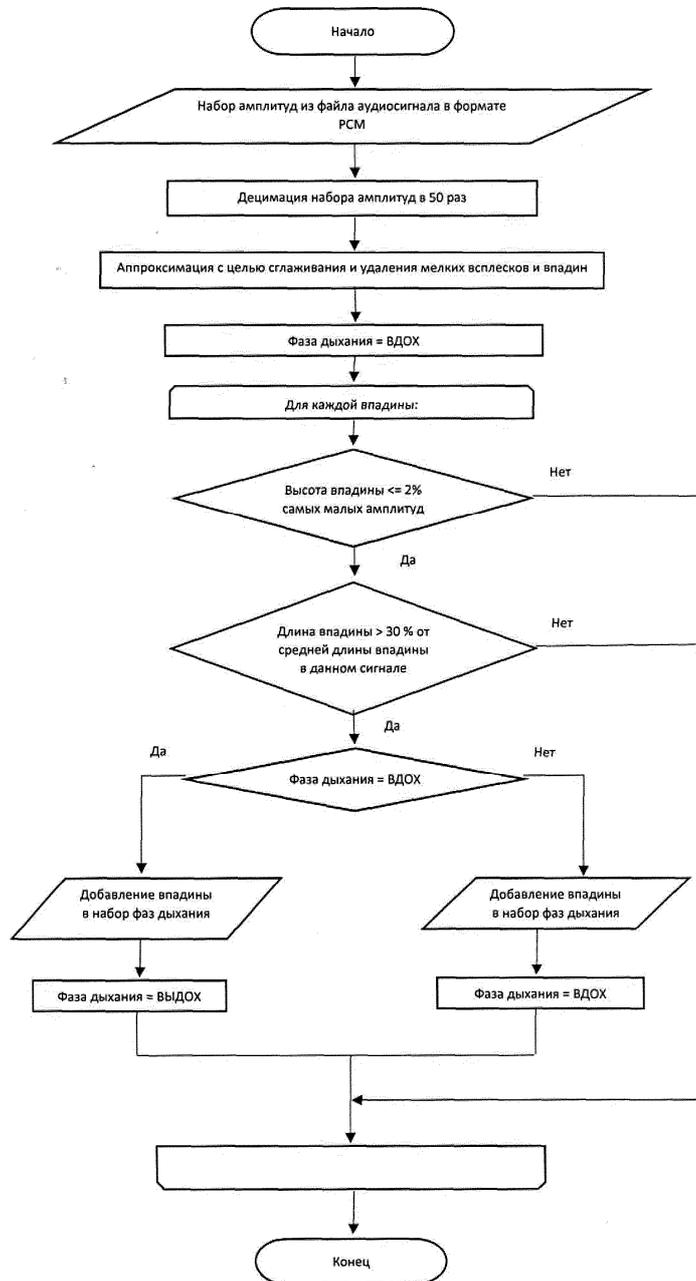
Фиг. 8



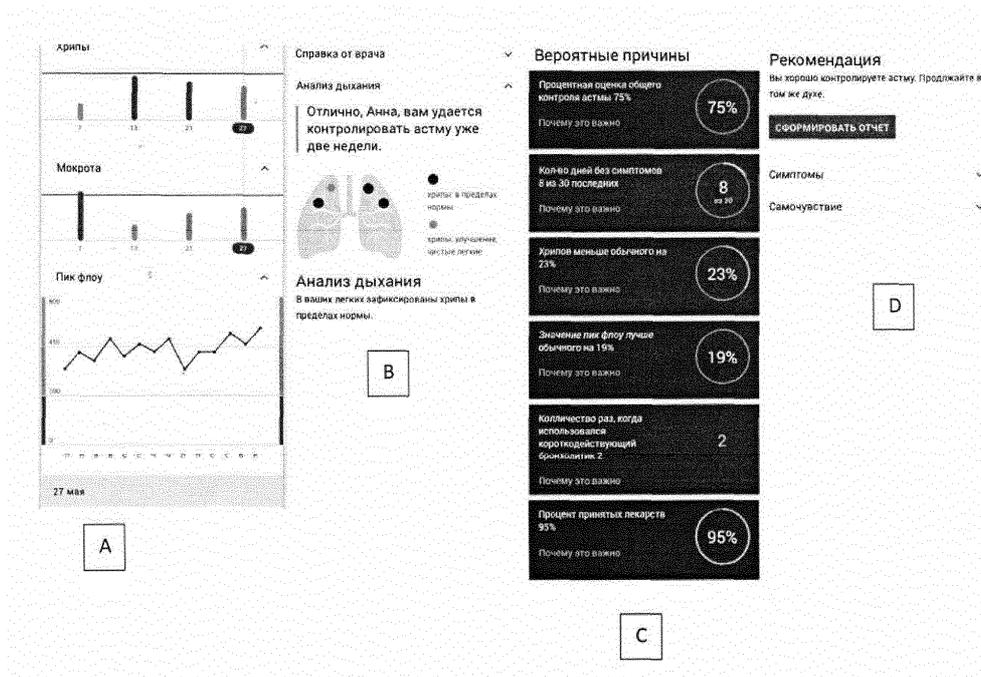
Фиг. 9



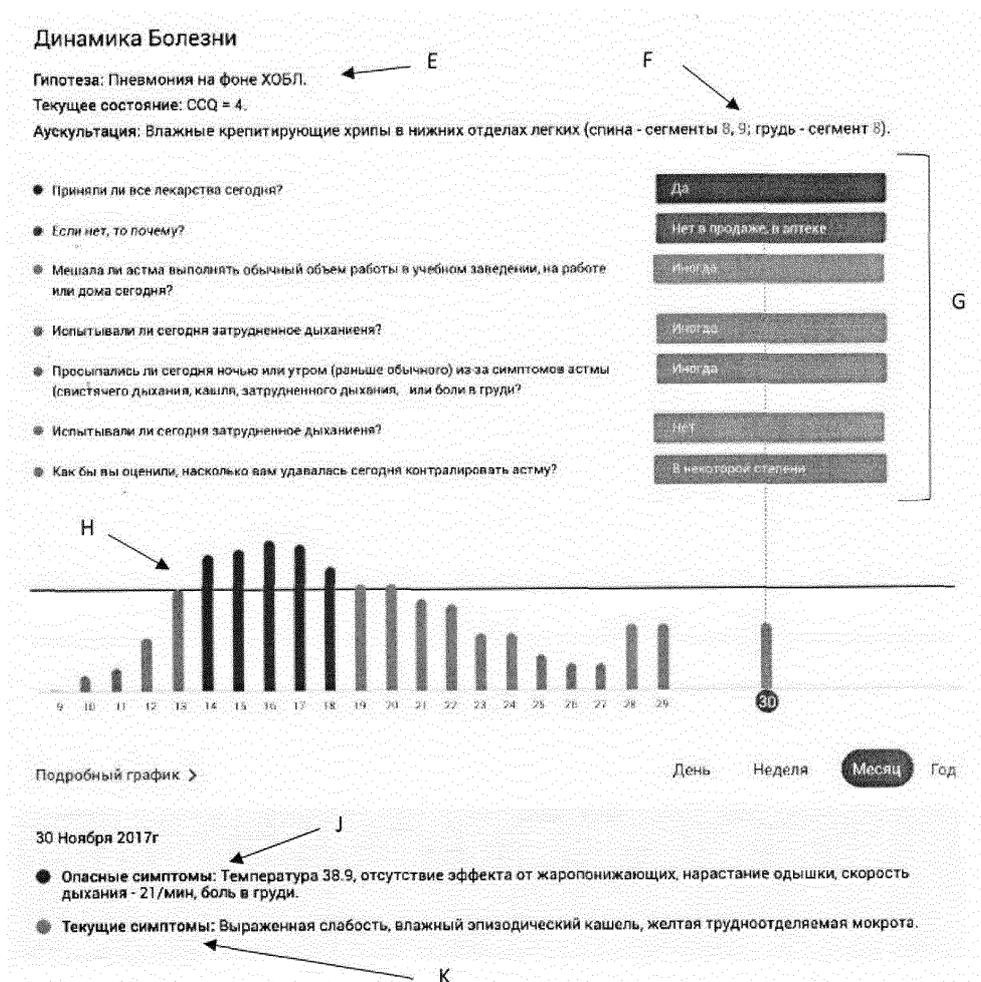
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13

