

УДК 004.042

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.29.2.029](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.29.2.029)

Разработка системы массового мониторинга специальных состояний

В.А. Васильченко, В.Л. Бурковский

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,
Воронеж, Российская Федерация*

Резюме: Актуальность исследования обусловлена высоким уровнем заболеваний легких по данным ВОЗ. Ежегодная смертность от хронических болезней нижних дыхательных путей составляет 3 миллиона человек, а от рака легких 1.7 миллиона. Согласно информации министерства здравоохранения Российской Федерации, ранняя диагностика и планирование на ее основе профилактических мероприятий позволит значительно снизить уровень смертности от легочных заболеваний и повысить качество жизни населения. Для реализации задач массовой обработки медицинской информации, повышения эффективности лечебно-профилактических мероприятий по выявлению заболеваний легких на ранних этапах предлагается создание программного комплекса. Разработанное программное обеспечение дает возможность оценки ситуации в исследуемой территориальной области и мониторинга, как состояния здоровья, так и эффективности предпринимаемых мер. В статье представлены методы по автоматизации анализа данных лабораторного анализа, а также данных исследований компьютерного томографа. Материалы статьи представляют практическую ценность для медицинских учреждений, позволяя выявлять патологии легких на ранних этапах, а также для центров принятия решений, где производится оценка качества медицинских услуг в разрезе возрастных и гендерных групп, как в каждом регионе в отдельности, так и на государственном уровне в целом.

Ключевые слова: мониторинг, анализ данных, нейронная сеть, тепловая карта, DenseNet, ANFIS.

Для цитирования: Васильченко В. А., Бурковский В. Л. Разработка системы массового мониторинга специальных состояний. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(2). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/VasilchenkoBurkovsky_2_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.029

Development of a system of mass monitoring special conditions

V.A. Vasilchenko, V.L. Burkovsky

FSBE of HE "Voronezh State Technical University"

Abstract: The relevance of the study is due to the high level of lung disease according to WHO. The annual mortality from chronic lower respiratory diseases is 3 million, and from lung cancer 1.7 million. According to information from the Ministry of Health of the Russian Federation, early diagnosis and planning of preventive measures based on it will significantly reduce the mortality rate from lung diseases and improve the quality of life of the population. To implement the tasks of mass processing of medical information, increase the effectiveness of treatment and prophylactic measures to detect lung diseases in the early stages, it is proposed to create a software package. The developed software makes it possible to assess the situation in the studied territorial area and monitor both the state of health and the effectiveness of measures taken. The article presents methods for automating the analysis of laboratory analysis data, as well as research data of a computer tomograph. The materials of the article are of practical value for medical institutions, allowing you to identify lung pathologies in the early stages, as well as for decision centers, where the quality of medical services is assessed by age and gender groups, both in each region individually and at the state level whole.

Keywords: monitoring, data analysis, neural network, heat map, DenseNet, ANFIS.

For citation: Vasilchenko V.A., Burkovsky V.L. Development of a system of mass monitoring special conditions. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(2). Available from: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/VasilchenkoBurkovsky_2_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.029 (In Russ).

Введение

В последнее десятилетие проблема борьбы с заболеваниями легких активно обсуждается на таких международных конференциях, как «Первая Глобальная министерская конференция по здоровому образу жизни и неинфекционным заболеваниям (28-29 апреля 2011 г., Москва) [1, 2] и Генеральной Ассамблеи ООН (1-20 сентября 2011 г., Нью-Йорк), на которой была принята «Политическая декларация совещания высокого уровня Генеральной Ассамблеи по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними». В ней особенно было отмечено, что болезнь легких – одна из четырех групп неинфекционных заболеваний, которая приводит к трем из пяти случаев смерти людей в мире [3].

По оценкам ВОЗ, в настоящее время 210 миллионов человек имеют ХОБЛ и 3 миллиона человек умерли от ХОБЛ. По прогнозам ВОЗ, к 2030 году ХОБЛ станет третьей по значимости причиной смерти в мире [4].

От хронической обструктивной болезни легких в 2016 г. умерли 3,0 млн человек, а от рака легких (наряду с раком трахеи и бронхов) – 1,7 млн человек [5].

Ежегодно от хронических болезней нижних дыхательных путей умирает более 30 тыс. человек (более 40 % всех умерших от болезней органов дыхания) на фоне роста смертности от заболеваний органов дыхания.

В связи с постарением населения и увеличением ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации прогнозируется дальнейший рост заболеваемости и смертности от указанной патологии.

По информации министерства здравоохранения Российской Федерации, ранняя диагностика и планирование на ее основе профилактических мероприятий позволит значительно снизить уровень смертности от легочных заболеваний и повысить качество жизни населения.

Однако, оптимальное решение проблемы качества оказания медицинской помощи возможно только посредством совершенствования организации и управления здравоохранением на основе математических алгоритмов. В связи с этим актуальным представляется создание компьютерной системы мониторинга легочных заболеваний, которая позволила бы оптимизировать управление лечебно-диагностическим процессом, повысить не только клиническую эффективность терапии этого заболевания, но и снизить финансовое бремя легочных заболеваний на здравоохранение и общество в целом.

Материалы и методы

Основной задачей разработки данного программного обеспечения является повышение эффективности лечебно-профилактических мероприятий по выявлению заболеваний легких на ранних этапах. Полученные результаты мониторинга легочных заболеваний можно использовать в двух основных направлениях: обоснование целесообразности и оценка эффективности (Рис. 1).



Рисунок 1 – Цели мониторинга заболеваемости легких
Figure 1 - Goals for monitoring lung morbidity

Результаты мониторинга заносятся в базу данных для последующей аналитической обработки. В будущем результаты расчетов будут использоваться для оценки ситуации и мониторинга, как состояния здоровья, так и эффективности предпринимаемых мер.

Для получения достоверных результатов необходимо осуществление следующих принципов мониторинга факторов риска (рис. 2).

Специализированное программное обеспечение, которые будет обеспечивать сбор и анализ первичных данных должно быть разработано в соответствии с требованиями эпидемиологического мониторинга.



Рисунок 2 – Основные принципы мониторинга на основе факторов риска
Figure 2 - Basic principles of monitoring based on risk factors

Чтобы предоставить каждому участнику мониторинга доступ к данным технологических процессов сбора и обработки первичных данных мониторинга, необходимо его подключить к сети интернет с помощью сетевого протокола TCP/IP. Передача данных осуществляется на основе протокола прикладного уровня HTTP. Состав комплекса представлен на рисунке 3.

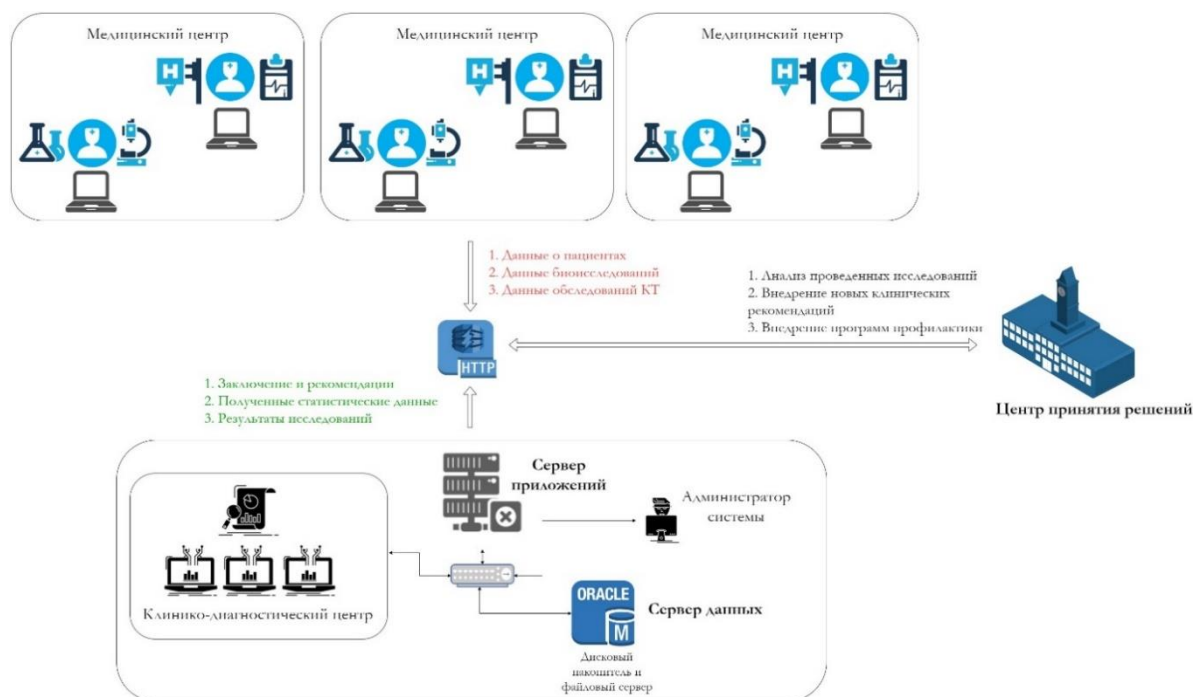


Рисунок 3 – Состав комплекса мониторинга заболеваний легких
 Figure 3 - Composition of the lung disease monitoring complex

Комплекс состоит из медицинского центра, в котором происходит полное либо частичное обследование пациента на предмет легочных заболеваний; центра принятия решений, где осуществляется стратегическое планирование по снижению легочных заболеваний; клинико-диагностического центра, где осуществляется анализ и обработка полученных результатов обследования; программного комплекса, помогающего производить анализ данных, которые получил медицинский центр.

Обследование в медицинском центре проходит в несколько этапов:

1. Первичный осмотр пациента. В него входит оценка первых признаков заболеваний: одышка в состоянии покоя; долгие приступы кашля сухого или с вкраплениями крови и гноя в мокроте; хрипы и свисты при дыхании; чувство тяжести в грудной клетке; повышенная температура, общее ухудшение самочувствия, снижение аппетита.

2. Проведение неинвазивных методов обследования: ультразвуковое обследование, флюорография, рентгенография, а также компьютерная томография, как наиболее точный метод обследования. Также набирает популярность низкодозная компьютерная томография. Она в десятки раз превосходит флюорографию и рентгенографию по эффективности, но при этом доза облучения значительно ниже. Мультиспиральная компьютерная томография легких также основана на принципе рентгеновского излучения, поэтому ее нельзя проводить кормящим или беременным. Может проводиться как с помощью контраста, так и без. С помощью КТ возможно отследить

отклонения от нормы, выявить различные травмы грудной клетки, новообразования на ранних стадиях или воспалительные процессы. На основе данного вида исследования осуществимо построение 3D изображений легких, трахей и бронхов, где будут видны паталогические изменения (туберкулез; саркоидоз; абсцесс легких; рак легких; воспалительные заболевания легких, бронхов, плевры; инородных тел; лимфопролиферативных заболеваний, а также патологий органов средостения).

3. Проведение инвазивных методов обследования: бронхоскопия, тораскопия, торакотомия, пункции плевральной полости и биопсия плевры.

4. Проведение лабораторного анализа. Проведение анализа исследований мочи, крови, плевральной жидкости и биохимии.

Все полученные данные передаются через интернет по защищенному каналу связи в клинко-диагностический центр, где происходит анализ всех результатов обследований. Основную массу обследования предполагается автоматизировать с помощью предлагаемой биотехнической системы анализа медицинских данных. Диагностический центр будет использовать алгоритмы по анализу снимков КТ, а также данные лабораторного анализа для интеллектуализации процесса диагностики и поставки диагноза. Система только анализирует всю получаемую информацию и предоставляет результаты врачу. Но окончательное решение в любом случае остается за врачом-диагностом.

Второй и четвертый этапы обследований предлагается автоматизировать с помощью разработанных компьютерных алгоритмов.

На втором этапе для автоматизации анализа снимков компьютерного томографа предлагается сверточная нейросетевая модель процесса распознавания и алгоритм распознавания полученных снимков [6]. За основу будет взят алгоритм сверточной сети Densenet, глубина которого составляет 201 слой. В него были внесены изменения в виде применения функции активации ReLU (сокращение от англ. rectified linear unit), которая позволяет существенно ускорить процесс обучения и одновременно с этим значительно упростить вычисления (за счёт простоты самой функции). По состоянию на 2017 год эта функция и её модификации (Noisy ReLU, Leaky ReLU и другие) являются наиболее часто используемой функцией активации в глубоких нейросетях, в частности, свёрточных.

Первоначальный вариант сети позволял классифицировать порядка 1000 различных категорий объектов. Применение метода переноса обучения в глубоких нейронных сетях позволило использовать предварительно обученную сеть в качестве отправной точки для классификации легочных патологий – рисунок 4.

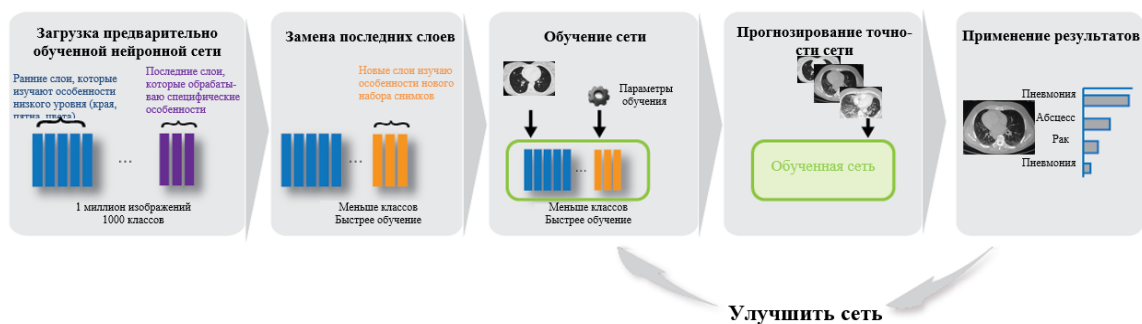


Рисунок 4 – Реструктуризация базовой обученной нейронной сети
 Figure 4 - Restructuring of a basic trained neural network

Результаты

В результате работы нейронной сети получается обработанное изображение компьютерного томографа, на которое нанесена тепловая карта с зелеными/желтыми/красными оттенками, указывающими на положительный прогноз заболевания и синими/фиолетовыми – если заболевание на рассматриваемом участке снимка КТ не обнаружено. Примеры результатов работы алгоритма представлены на рисунке 5.

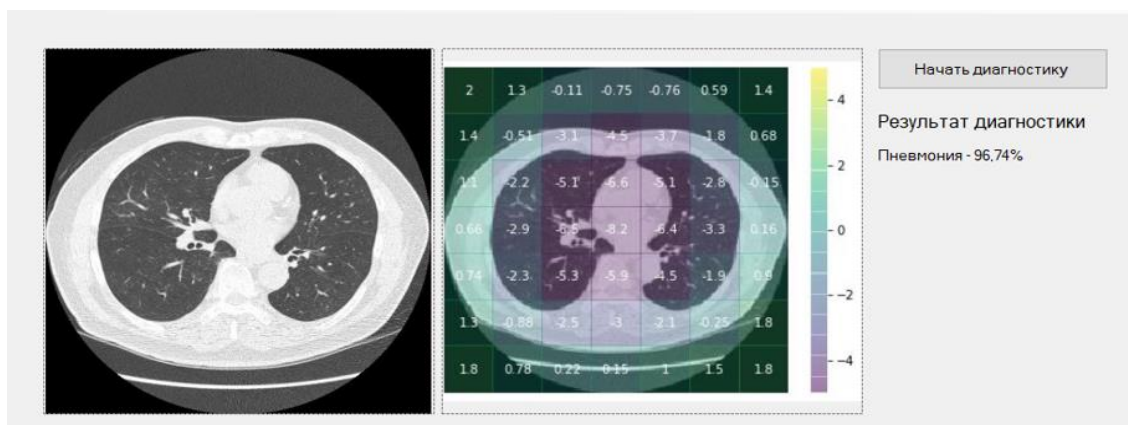


Рисунок 5 – Результаты работы алгоритма распознавания
 Figure 5 - The results of the recognition algorithm

В четвертый этап предлагается внедрить алгоритм диагностики заболеваний легких на основе данных лабораторного анализа. Требуется оценка исследований мочи, крови, плевральной жидкости и биохимии. В результате возникает задача классификации, которая состоит в отнесении объекта, заданного вектором информативных признаков в виде результатов анализов, к одному из классов: «Необходимо лечение с помощью лекарственных препаратов» или «Медикаментозное лечение не требуется». Данную задачу можно за счет реализации нейронечетких моделей, относящихся к классу гибридных систем, построение которых осуществляется на базе нечеткой логики, нейронных сетей и генетического алгоритма. Для ее обучения необходимо учитывать большое количество параметров и накопительный объем информации, что приводит к усложнению построения модели.

Обсуждение

Разработанная нейронечеткая сеть ANFIS имеет пять слоев и описывается следующим способом:

1. Выходы узлов первого слоя представляют собой значения функций принадлежности при определенных значениях входных параметров:

2. $O_i^1 = \mu_{A_i}(x)$, где x – входной сигнал узла i , A_i – лингвистическая переменная, которая связана с данной узловой функцией, $\mu_{A_i}(x)$ - функция принадлежности переменной A_i , которая определяет степень, с которой данный x удовлетворяет A_i .

3. Выходами нейронов второго слоя являются степени истинности предпосылок каждого правила базы знаний системы.

$$\omega_i = \mu_{A_i}(x_1) \times \mu_{B_i}(x_2) \times \mu_{C_i}(x_3) \times \mu_{D_i}(x_4), \quad (1)$$
$$i = 1, 2, 3, 4$$

4. Каждый i -ый узел третьего слоя определяет отношение веса i -го правила к сумме весов всех правил:

$$\bar{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_i}, \quad (2)$$

5. Нейроны четвертого слоя выполняют операции вычисления значений для функций принадлежности выходного параметра. Для модели типа Сугено: $z_i = \bar{\omega}_i f_i$, где f_i - функции принадлежности выходных переменных.

6. Единственный узел данного слоя. В нем происходит вычисление выходного значения адаптивной сети как сумма всех входных сигналов $z = \bar{\omega}_1 z_1 + \bar{\omega}_2 z_2 + \dots + \bar{\omega}_i z_i$.

Обучение гибридной нейронной сети происходит методом обратного распространения ошибки. Задача разработанной сети заключается в определении необходимости применения лекарственных препаратов.

Заключение

Биотехническая система анализа медицинских данных позволит оценить эффективность предпринимаемых мер по лечению и диагностики заболеваний легких, включая законодательные. А также поможет производить оценку качества медицинских услуг в разрезе возрастных и гендерных групп, как в каждом регионе по отдельности, так и на государственном уровне в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Всемирный день борьбы против хронической обструктивной болезни легких. Доступно по: <https://www.rosminzdrav.ru/news/2015/11/18/2648-vsemirnyy-den-borby-protiv-hronicheskoy-obstruktivnoy-bolezni-legkih> (дата обращения: 15.01.2020).
2. Похазникова М.А., Лебедев А.К., Андреева Е.А. и др. Распространенность хронической обструктивной болезни легких по данным спирометрического исследования среди жителей Санкт-Петербурга. *Вестник современной клинической медицины*. 2016;9(5):35-40.
3. Постникова Л.Б., Костров В.А., Постникова Л.Б., Болдина М.В., Зеляева Н.В. Распространенность хронической обструктивной болезни легких в крупном промышленном центре (Нижний Новгород). *Пульмонология*. 2009;6(5):8.
4. 10 ведущих причин смерти в мире. Доступно по: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> (дата обращения: 17.03.2020)

5. Васильченко В.А., Бурковский В.Л., Данилов А.Д. Алгоритмизация процесса распознавания состояний физиологических объектов на основе специальных рентгеновских изображений. *Компьютерная оптика*. 2019;41(2):296-303.

REFERENCES

1. Vsemirnyy den' bor'by protiv khronicheskoy obstruktivnoy bolezni legkikh. Available at: <https://www.rosminzdrav.ru/news/2015/11/18/2648-vsemirnyy-den-borby-protiv-khronicheskoy-obstruktivnoy-bolezni-legkikh> (accessed: 15.01.2020).
2. Pokhaznikova M.A., Lebedev A.K., Andreyeva Ye.A. i dr. Rasprostranennost' khronicheskoy obstruktivnoy bolezni legkikh po dannym spirometricheskogo issledovaniya sredi zhitel'ey Sankt-Peterburga. *Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny*. 2016;9(5):35-40. (In Russ)
3. Postnikova L.B., Kostrov V.A., Postnikova L.B., Boldina M.V., Zelyayeva N.V. Rasprostranennost' khronicheskoy obstruktivnoy bolezni legkikh v krupnom promyshlennom tsentre (Nizhniy Novgorod). *Pulmonologiya*. 2009;6(5):8. (In Russ)
4. 10 vedushchikh prichin smerti v mire. Available at: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> (accessed: 17.03.2020)
5. Vasilchenko VA, Burkovskiy VL, Danilov AD. Algorithmization of the process of recognition of states of living objects based on special x-ray images. *Computer Optics* 2019; 43(2): 296-303. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-43-2-296-303.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Васильченко Владислав Алексеевич, аспирант кафедры электропривода, автоматике и управления в технических системах ФГБОУ ВО «Воронежского государственного технического университета», Воронеж, Российская Федерация
e-mail: v.a.vasilchenko@gmail.com
ORCID: [0000-0002-0626-3384](https://orcid.org/0000-0002-0626-3384)

Vladislav V. Vasilchenko, P. G. of The Department of electric drive, automation and control in technical systems of FSBE of HE "Voronezh State Technical University", Voronezh, Russian Federation

Бурковский Виктор Леонидович, д.т.н., профессор кафедры электропривода, автоматике и управления в технических системах ФГБОУ ВО «Воронежского государственного технического университета», Воронеж, Российская Федерация
e-mail: bvl@vorstu.ru
ORCID: [0000-0001-7957-9681](https://orcid.org/0000-0001-7957-9681)

Viktor L. Burkovsky, Doctor of Technical Sciences, Professor of The Department of electric drive, automation and control in technical systems of FSBE of HE "Voronezh State Technical University", Voronezh, Russian Federation.