

УДК 004.932.2

В. П. Фандеев, Д. В. Колеснов

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОИСКА ПРИЗНАКОВ ПАТОЛОГИИ НА РЕНТГЕНОВСКОМ СНИМКЕ ЛЕГКИХ

Аннотация. *Актуальность и цели.* Традиционная методика анализа рентгеновских снимков обладает большой трудоемкостью, требует высокой квалификации специалиста и в условиях ограниченного времени на описание снимка не исключает диагностических ошибок. Снизить трудоемкость, повысить достоверность и ограничить требования к квалификации экспертов-рентгенологов в части компьютерной обработки медицинских изображений возможно за счет автоматизации процесса анализа рентгеновских снимков. *Материалы и методы.* Решение проблем, связанных с повышением достоверности диагностирования, снижением трудоемкости анализа, а также с ограничением требований к специалисту в области компьютерной обработки изображений, заключается в создании информационной технологии на основе комплексного применения нескольких функций пакета IPT программы MatLab, позволяющей произвести оценку разнообразных характеристик объектов интереса. *Результаты.* В результате использования функций пакета IPT MatLab создан программно-методический комплекс с возможностью поиска и оценивания объектов интереса на цифровых рентгеновских снимках, комплексного оценивания полученных сведений и принятия решения о диагностической значимости найденных объектов интереса без участия эксперта. *Заключение.* В отличие от известных технологий предлагаемая информационная технология позволяет оценивать объекты интереса по комплексу задаваемых диагностически значимых характеристик и параметров объектов без участия эксперта. Это позволяет повысить достоверность, снизить трудоемкость диагностирования, а также ограничить требования к квалификации специалистов-рентгенологов в части компьютерной обработки рентгеновских изображений.

Ключевые слова: MatLab, информационная технология, цифровой рентгеновский снимок, рентгенологический признак патологии легких, поиск рентгенологических признаков.

Введение

На сегодняшний день существует огромное количество заболеваний, представляющих серьезную опасность для здоровья населения. К ним относятся и заболевания органов дыхания, поэтому в 2011 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) включила их в число 10 ведущих причин смертности в мире [1].

Таким образом, заболевания органов дыхания нуждаются в тщательной и своевременной диагностике, от которой зачастую может зависеть жизнь пациента.

Среди всех методов инструментальной диагностики заболеваний органов дыхания наиболее часто применяемым и достоверным является рентгенологический метод диагностики, основной задачей которого является анализ рентгеновских снимков с целью выявления признаков патологии.

Традиционный экспертный метод диагностики патологии по рентгеновскому снимку легких основывается на поиске и оценивании специалистом в сфере анализа рентгеновских снимков легких характерных для конкретной патологии рентгенологических признаков. При этом эксперт придерживается определенной последовательности действий. Прежде всего описывается теневая картина, т.е. определяется, является выбранная область снимка (объект) затемнением или просветлением. Затем определяется локализация объекта по долям и сегментам легких. Далее оцениваются размер, форма, контуры, интенсивность и структура объекта [2].

Согласно литературным данным, чаще всего основной диагностический признак патологии легких проявляется на рентгеновских снимках как затемнение легочного поля

в виде очаговой тени. Условно принято считать очаги до 2 мм милиарными, размером 2–4 мм мелкими, 4–8 мм средними и 8–12 мм крупными. Круглый одиночный очаг размером более 10 мм относится к синдрому круглой тени в легочном поле [3].

Таким образом, методика визуального поиска и оценивания небольших малоконтрастных диагностически значимых объектов на рентгеновском снимке трудоемка, требует высокой квалификации эксперта-рентгенолога и в условиях ограниченного времени на описание снимка не исключает диагностических ошибок.

Учитывая уровень развития современных компьютерных технологий, а также их активное внедрение в медицинскую практику с различными целями, можно утверждать, что снижение трудоемкости и повышение достоверности диагностирования достигается внедрением «дружественных» пользователю информационных технологий поиска признаков патологии на рентгеновских снимках легких.

Целью данного исследования является разработка информационной технологии поиска диагностически значимых признаков патологии на рентгеновском снимке легких, позволяющей снижать трудоемкость, повышать достоверность поиска, ограничить требования к квалификации экспертов-рентгенологов в части компьютерной обработки медицинских изображений.

Методы и материалы

Материалом данного исследования послужил цифровой рентгеновский снимок легких, с помощью которого были проанализированы основные этапы работы данной в статье информационной технологии. Предлагаемый алгоритм представляет собой один из методов решения сложных диагностических задач путем плодотворного сотрудничества новейших достижений компьютерной технологии и опытного в области рентгенологической диагностики специалиста. Такое сотрудничество позволяет выполнить часть диагностического процесса, связанного с математическим вычислениями, компьютеру, а наиболее важную часть, связанную с принятием диагностического решения, специалисту. Эффективность такого сотрудничества подтверждают слова Н. Винера: «Отдайте же человеку человеческое, а вычислительной машине — машинное. В этом и должна, по-видимому, заключаться разумная линия поведения при организации совместных действий людей и машин» [4].

С целью выбора наиболее эффективного способа решения поставленной задачи был проведен анализ известных алгоритмов, в ходе которого было выяснено, что наиболее известные на сегодня алгоритмы обработки изображений, способные решить задачи, связанные с поиском и оцениванием диагностически значимых признаков патологии, в основном ориентированы на использование специалистом по компьютерным технологиям отдельных функций IPT для поиска и выделения границ, оценивания параметров объектов [5], или используют иные алгоритмы, подразумевающие наличие шаблона [6].

Снижение трудоемкости и повышение достоверности поиска рентгенологических признаков патологии достигается внедрением информационных технологий обработки цифрового снимка программными средствами, в том числе с использованием функций IPT.

Предлагаемый алгоритм и программно-методический комплекс поиска признаков патологии по цифровому рентгеновскому снимку легких (рис. 1) в среде MatLab основывается на комплексном оценивании диагностически значимых объектов с использованием функций IPT без участия эксперта.

На рис. 1 представлен пример цифровой флюорограммы легких в прямой проекции, взятый с портала радиологов radiomed.ru (URL: <https://radiomed.ru/en/node/1128>). В описа-

нии к снимку, также взятому с портала, указано, что на изображении слева на уровне 5 ребра определяется крупноочаговая тень.



Рис. 1. Пример цифровой флюорограммы легких в прямой проекции

Алгоритмом предусматривается поиск признака патологии, диагностически значимого по форме, размерам, площади и относительной оптической плотности на основе комплексного оценивания объектов цифрового рентгеновского снимка легких (рис. 2).

Прежде всего реализуется цикл поиска на снимке объекта по заданным форме и размерам:

- 1) бинаризация изображения на снимке применением функции `im2bw` с пошаговым изменением порога бинаризации от 0,01 до 1 (рис. 3,а);
- 2) выделение границ объекта на бинарном изображении с использованием функции `edge` (метод Canny);
- 3) оценивание формы и размеров объекта с использованием функции `strel`;
- 4) выделение объекта, соответствующего заданным форме и размерам, белым цветом на черном фоне с использованием функции `imfill` (рис. 3,б).

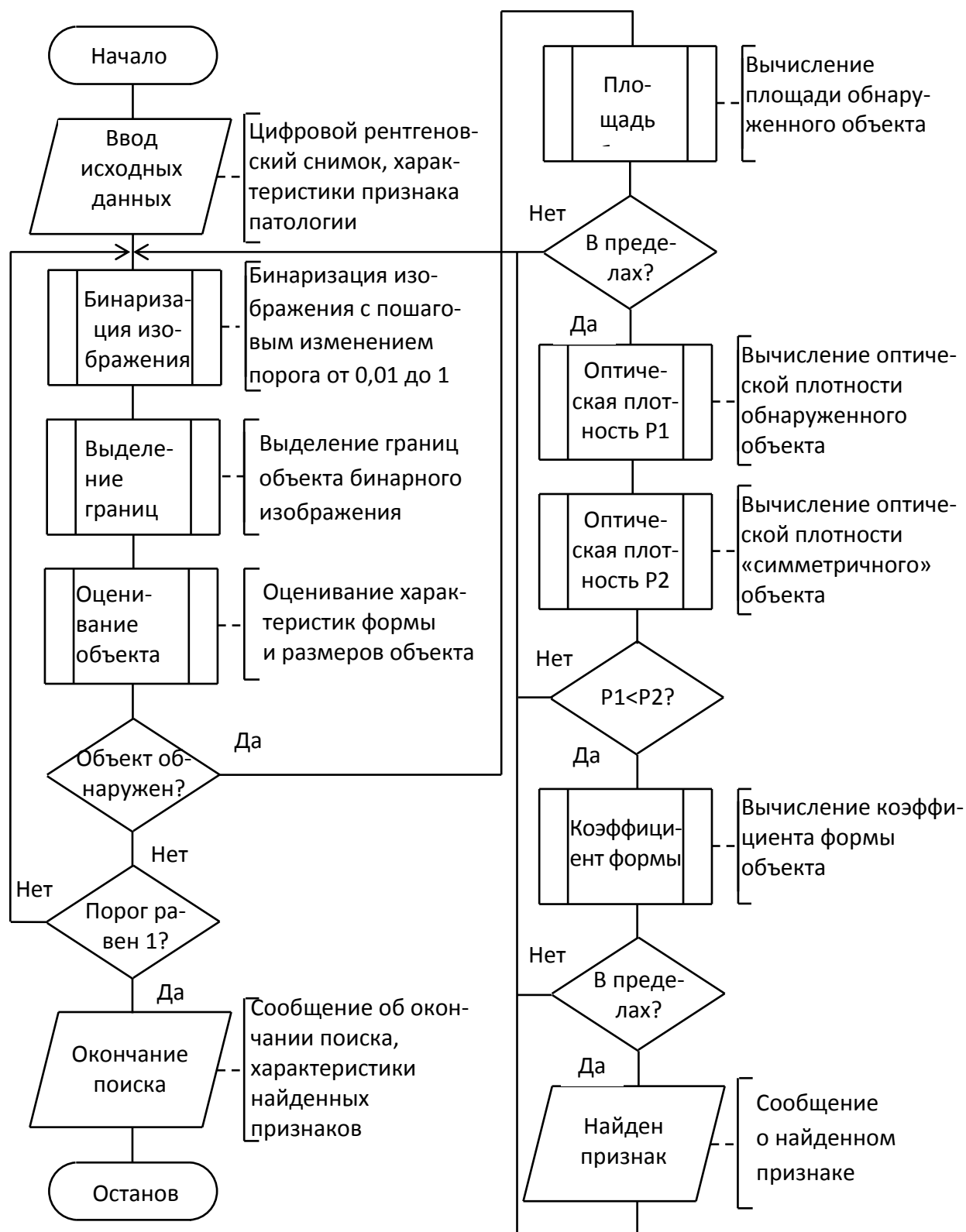


Рис. 2. Схема алгоритма поиска признаков патологии на цифровом рентгеновском снимке легких

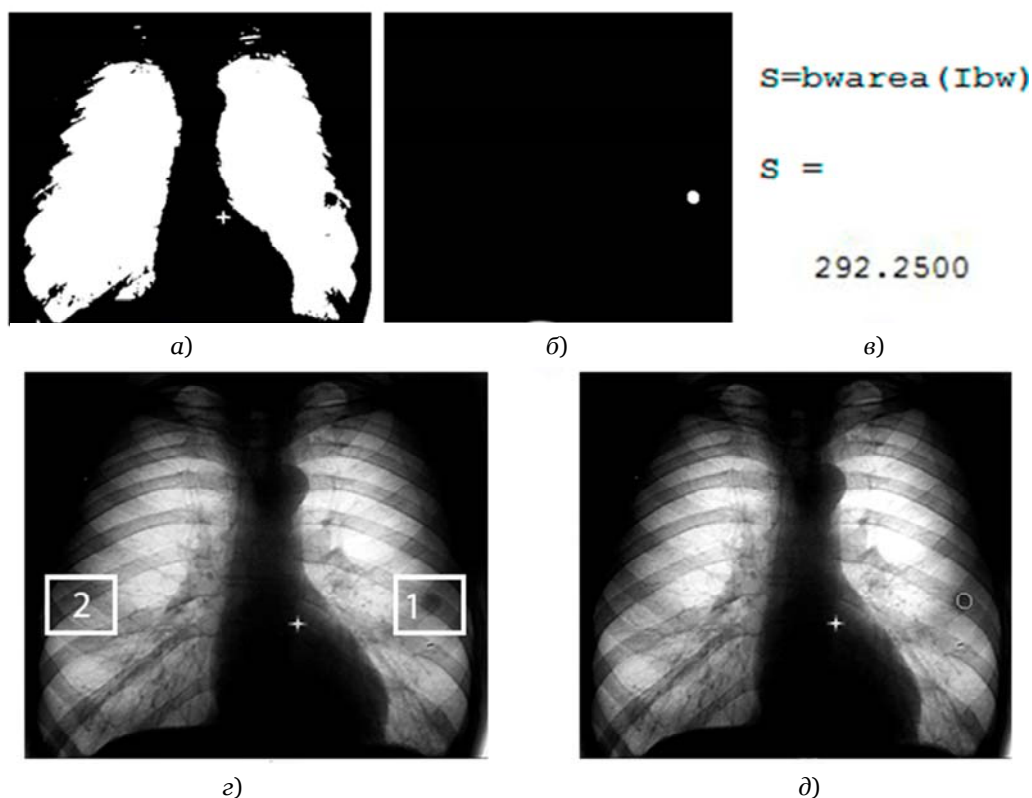


Рис. 3. Результаты реализации программно-методического комплекса поиска признаков патологии на флюорограмме легких:

- а – изображение после очередного шага пороговой бинаризации;
 б – найденный объект округлой формы; в – результат вычисления площади объекта;
 г – область интереса 1 и альтернативная область 2; д – обнаруженный объект

Вычисляется площадь обнаруженного объекта с использованием функции `bwarea` (рис. 3,в). Если площадь объекта находится в назначенных пределах, то применяется функция `regionprops`. В противном случае продолжается цикл поиска на снимке объекта по заданным форме и размерам.

Синтаксисом функции `regionprops` предусматривается выделение границ области, в которой находится выбранный объект, представляющий диагностический интерес, и оценивание его оптической плотности по яркости пикселей. На рис. 3,г прямоугольником с цифрой 1 выделена область, ограничивающая выбранный объект, обозначаемая P_1 на схеме алгоритма.

По координатам вершин прямоугольника, ограничивающего обнаруженный объект, выделяется аналогичная область легкого на снимке легких пациента без патологии или эталонных рентгеновских снимках легких без патологии и оценивается оптическая плотность этой области. Если оптическая плотность области на снимке с патологией меньше оптической плотности области на снимке без патологии, то принимается решение, что объект на снимке с патологией является затемнением.

Обе методики обнаружения затемнения на снимке легких пациента с патологией по снимку легких пациента без патологии или по эталонному снимку легких без патологии имеют свои преимущества и недостатки. Применение методик возможно, если имеется база данных рентгеновских снимков легких пациента без патологии или эталонных рентгеновских снимков легких без патологии.

В случае отсутствия базы данных рентгеновских снимков легких пациента или эталонных рентгеновских снимков легких решение о наличии затемнения на снимке легких пациента может приниматься по результату оценивания интенсивности «симметричной» области P2 второго легкого пациента (прямоугольник с цифрой 2 на рис. 3,2). Если оптическая плотность области P1 меньше оптической плотности области P2, то принимается решение, что объект в области P1 является затемнением. В противном случае продолжается цикл поиска на снимке объекта по заданным форме и размерам.

Поиск признака патологии завершается вычислением коэффициента формы обнаруженного объекта. Если коэффициент формы объекта находится в назначенных пределах, то обнаруженный объект относится к признакам патологии. В противном случае продолжается цикл поиска на снимке объекта по заданным форме и размерам.

Циклы поиска на снимке объектов по заданным форме и размерам завершаются после достижения порогом бинаризации значения 1 и сообщением пользователю о завершении поиска и найденных признаках патологии.

В результате реализации программно-методического комплекса поиска признаков патологии на флюорограмме легких (см. рис. 1) обнаружено затемнение округлой формы площадью приблизительно 292,3 пикселей, 0,7 см в диаметре (рис. 3,д).

Несмотря на практически полную автоматизацию процесса поиска и оценивания признаков патологии на цифровых рентгеновских снимках легких, результаты, полученные в ходе этого процесса, не являются априорно диагностически ценными и передаются эксперту через интерфейс пользователя для анализа и принятия решения о достоверности обнаружения признаков патологии, диагнозе или продолжении обследования пациента.

Таким образом, предлагаемая информационная технология поиска признаков патологии на рентгеновском снимке легких позволяет сделать процесс анализа цифровых рентгеновских снимков менее трудоемким, повысить достоверность этого анализа, а также значительно снизить требования к специалисту в области компьютерной обработки изображений.

Результаты и их обсуждение

В ходе проведения данного исследования был создан программно-методический комплекс, отличающийся от известных технологий оцениванием всех диагностически значимых объектов по форме, размерам, площади и оптической плотности с использованием функций ИРТ и без участия эксперта.

Основой созданного программно-методического комплекса является поиск признаков патологии на цифровом рентгеновском снимке легких, который осуществляется среди объектов с задаваемыми характеристиками и параметрами на бинарных отображениях цифрового рентгеновского снимка легких, формируемых пошаговым изменением порога бинаризации. Число формируемых бинарных изображений задается выбором числа дискретных значений порога бинаризации. В процессе создания предлагаемой информационной технологии было экспериментально установлено, что оптимальным пределом дискретных значений порога бинаризации является 100 значений.

Совмещение возможностей функции *strel* с операцией бинаризации позволяет оценить форму объектов на получившемся бинарном изображении. Однако возможности оценивания формы объектов ограничиваются формами плоских структурных элементов, предусматриваемыми синтаксисом функции *strel*, в том числе ромбообразным, дискообразным, восьмиугольным, прямоугольным и квадратным структурным элементом. Поэтому с целью получения более полной информации об объекте бинарного изображения, необходимой для принятия решения о наличии признака патологии, дополнительно

оцениваются площадь объекта, оптическая плотность области, в которой находится объект, и коэффициент формы объекта.

Основной задачей информационной технологии при оценке площади объекта является сопоставление рассчитанных значений с предельными значениями, задаваемыми экспертом, а при оценке оптической плотности – расчет и сравнение оптической плотности области интереса и оптической плотности «симметричной» области второго легкого на рентгеновском снимке. Вместе с тем решение о наличии или отсутствии признака патологии на основании сравнения оптических плотностей объекта и «симметричной» области второго легкого может быть ошибочным.

Комплексная проверка соответствия количественных оценок обнаруженного объекта интереса задаваемым характеристикам и отсутствия подобного объекта в «симметричной» области второго легкого позволяет значительно повысить достоверность поиска рентгенологических признаков патологии.

Ключевой момент при принятии решения о наличии признака патологии на рентгеновском снимке легких – соответствие объекта задаваемым характеристикам и параметрам признака патологии и отсутствие подобного объекта в «симметричной» области второго легкого. Такой комплексный подход к принятию диагностического решения позволяет значительно снизить количество диагностических ошибок и тем самым повысить достоверность диагностирования. Дальнейшее повышение достоверности поиска рентгенологических признаков патологии достигается сопоставлением оптических плотностей объекта и аналогичной области на снимке легких пациента или эталонном снимке без патологии из базы данных рентгеновских снимков в составе информационной системы поиска признаков патологии на рентгеновских снимках.

В итоге за счет алгоритмизации процесса поиска признаков патологии достигается автоматизация традиционного экспертного визуального поиска признаков патологии на рентгеновском снимке легких, обеспечиваемая программно-методическим комплексом предлагаемой информационной технологии, что в свою очередь приводит к снижению трудоемкости поиска рентгенологических признаков патологии, а также позволяет ограничить требования к квалификации специалистов-рентгенологов в части компьютерной обработки рентгеновских медицинских изображений.

Заключение

1. Предлагаемая информационная технология реализует часть интеллектуальных действий, традиционно выполняемых экспертом, по поиску признаков патологии на рентгеновском снимке легких. Вместе с тем информационная технология не исключает специалиста из процесса поиска признаков патологии, оставляя ему выбор исходных данных, формирование задания, анализ результатов поиска и принятие решения о наличии или отсутствии признаков патологии на рентгеновском снимке легких.

2. От известных технологий предлагаемая информационная технология поиска признаков патологии на рентгеновском снимке легких отличается возможностью оценивания объектов по комплексу задаваемых диагностически значимых характеристик и параметров, в том числе по форме, размерам, площади и оптической плотности с использованием функций ИРТ без участия эксперта в оценивании объектов.

3. Снижение трудоемкости поиска рентгенологических признаков патологии достигается за счет автоматизации традиционного экспертного визуального поиска признаков патологии на рентгеновском снимке легких, обеспечиваемой программно-методическим комплексом предлагаемой информационной технологии.

4. Повышение безошибочности поиска рентгенологических признаков патологии достигается проверкой соответствия обнаруженного объекта комплексу задаваемых характеристик и параметров признака патологии и отсутствия подобного объекта в «сим-

метричной» области второго легкого или на снимке легких пациента или эталонном снимке без патологии из базы данных рентгеновских снимков в составе информационной системы поиска признаков патологии на рентгеновских снимках.

5. Ограничение требования к квалификации специалистов-рентгенологов в части компьютерной обработки рентгеновских медицинских изображений достигается алгоритмизацией поиска признаков патологии и созданием «дружественного» интерфейса для реализации предлагаемой информационной технологии на компьютере.

6. Предлагаемая информационная технология может использоваться для поиска на рентгеновских снимках легких признаков пневмонии, туберкулеза, онкологических заболеваний, а также для поиска признаков заболеваний на рентгеновских снимках других органов.

7. Перспективным направлением развития предмета исследования является классификация характеристик и параметров признаков заболеваний легких для создания базы данных рентгеновских изображений и признаков заболеваний легких в составе информационной системы поиска признаков патологии на рентгеновских снимках.

Библиографический список

1. Затеев, Д. В. Заболевания органов дыхания и гендер / Д. В. Затеев, Т. К. Шинтаев, Н. И. Алексеева, А. Н. Микеров // Бюллетень медицинских Интернет-конференций. – 2013. – Т. 3, № 11. – С. 1179–1180.
2. Илясова, Е. Б. Лучевая диагностика / Е. Б. Илясова, М. Л. Чехонацкая, В. Н. Приезжева. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 275 с.
3. Линденбрaten, Л. Д. Медицинская рентгенология / Л. Д. Линденбрaten, Л. Б. Наумов. – М. : БИНОМ, 2015. – 496 с.
4. Винер, Н. Творец и робот: Обсуждение некоторых проблем, в которых кибернетика сталкивается с религией / Н. Винер. – М. : Прогресс, 1966. – 104 с.
5. Титова, А. Ю. Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг (ІУС та КМ – 2011) / А. Ю. Титова // Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. – Донецьк : ДонНТУ, 2011. – Т. 3. – С. 165–168.
6. Ван, Ши. Программа поиска определенного объекта изображения на основе его контурного анализа / Ван Ши, И. В. Цапко // Молодежь и современные информационные технологии : сб. тр. XIV Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Томск, 7–11 ноября 2016 г.) : в 2 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 1. – С. 214–215.

Фандеев Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор, кафедра «Медицинская кибернетика и информатика», Пензенский государственный университет.

E-mail: lyudmilarotmanova@yandex.ru

Колеснов Дмитрий Валентинович, студент, Пензенский государственный университет.

E-mail: dmitriikolesnov@mail.ru

УДК 004.932.2

Фандеев, В. П.

Информационная технология поиска признаков патологии на рентгеновском снимке легких / В. П. Фандеев, Д. В. Колеснов // Вестник Пензенского государственного университета. – 2018. – № 1 (21). – С. 91–98.