

**Kureichik Vladimir Victorovich** – Southern Federal University; e-mail: vkur@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

**Rodzin Sergey Ivanovich** – e-mail: srodzin@sfedu.ru; phone: +78634371673; the department of software engineering; cand. of eng. sc.; professor.

**Bova Viktoriya Viktorovna** – e-mail: bova@sfedu.ru; the department of computer aided design; associate professor.

УДК 004.42+004.3; 57.08+615.47+615.8 DOI 10.18522/2311-3103-2022-2-199-212

**А.В. Проскуряков**

**СИНТЕЗ ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДОВ ВЕРИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ  
МЕДИЦИНСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

*Описаны информационное и программное обеспечение реализации различных методов верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям подсистемой поддержки принятия решения для диагностики заболеваний. Указано на современное состояние развития медицинской диагностической техники, оснащённость которой медицинских учреждений страны и не оперативная её доступность для населения способствовало и привело к появлению и активному развитию новых направлений в области лучевой диагностики, к которым относятся: цифровая и пленочная рентгенография, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография. В статье акцент сделан на анализ рентгенографических изображений, принятие решений на основании анализа этих изображений, постановка диагноза на основании принятых решений. Сделан анализ преимуществ и недостатков рентгенографии, как современного способа диагностики, относительно своих аналогов. Важной задачей при анализе рентгенографических изображений медицинских биологических объектов и их фрагментов является решение задачи улучшения качества изображения. С целью улучшения качества рентгеновских снимков и повышения их информативности разработан алгоритм и реализовано программное обеспечение подсистемы программного обеспечения медицинской автоматизированной информационной системы для их коррекции и анализа. В статье рассматривается реализация решения задач диагностики заболеваний, таких как: анализ рентгенографических изображений, принятие решений на основании анализа этих изображений, постановка диагноза на основании принятых решений путём разработки и применения программного и информационного обеспечения реализации методов верификации состояния фрагментов биологических объектов, как эффективных методов диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим и компьютерно-томографическим изображениям. Описаны основные методы, лежащие в основе верификации по рентгеновским и компьютерно-томографическим изображениям. Приведен детальный анализ реализации математических моделей методов диагностики в виде алгоритмов, реализуемых программным обеспечением для функционирования подсистемы поддержки принятия решения медицинской автоматизированной информационной системы. Показаны примеры практической реализации программного и информационного обеспечения методов верификации медицинских объектов в виде экранных форм для работы с фрагментами исследуемого объекта и результатами анализа рентгенографических изображений. Это позволяет повысить оперативность, точность верификации состояния медицинских биологических объектов, достоверность процесса диагностики заболеваний. Показана научная новизна, результаты апробации материала, представленного в статье на международных, всероссийских конференциях, научных журналах.*

*Биологический; верификация; безэталонный метод верификации; диагностика; информация; медицинский; метод; метод эталонный; статистика; рентгенография; томография; энтропия; эталон.*

A.V. Proskuryakov

**SYNTHESIS OF SOFTWARE AND INFORMATION SUPPORT FOR THE IMPLEMENTATION OF METHODS FOR VERIFICATION OF THE STATE OF MEDICAL BIOLOGICAL OBJECTS FOR A MEDICAL AUTOMATED INFORMATION SYSTEM**

*This article describes the information and software for the implementation of various methods for verifying the state of fragments of biological objects using computed tomographic images by the decision support subsystem for the diagnosis of diseases. It is pointed out the current state of development of medical diagnostic equipment, the equipment of which medical institutions of the country and its non-operational accessibility to the population contributed to and led to the emergence and active development of new directions in the field of radiation diagnostics, which include: digital and film radiography, computed tomography, magnetic resonance imaging. The article focuses on the analysis of X-ray images, decision-making based on the analysis of these images, diagnosis based on the decisions made. The advantages and disadvantages of radiography as a modern diagnostic method are analyzed relative to their analogues. An important task in the analysis of radiographic images of medical biological objects and their fragments is to solve the problem of image quality improvement. In order to improve the quality of X-ray images and increase their informativeness, an algorithm has been developed and the software of the software subsystem of the medical automated information system for their correction and analysis has been implemented. The article discusses the implementation of solving problems of diagnosis of diseases, such as: analysis of radiographic images, decision-making based on the analysis of these images, diagnosis based on the decisions made by developing and applying software and information support for the implementation of methods for verifying the state of fragments of biological objects as effective methods for diagnosing the state of paranasal sinuses by their radiographic and computed tomographic images. The main methods underlying verification by X-ray and computed tomography images are described. A detailed analysis of the implementation of mathematical models of diagnostic methods in the form of algorithms implemented by software for the functioning of the decision support subsystem of a medical automated information system is given. Examples of practical implementation of software and information support for verification methods of medical objects in the form of screen forms for working with fragments of the object under study and the results of the analysis of radiographic images are shown. This makes it possible to increase the efficiency, accuracy of verification of the state of medical biological objects, the reliability of the disease diagnosis process. The scientific novelty, the results of the approbation of the material presented in the article at international, All-Russian conferences, scientific journals are shown.*

*Biological; verification; non-etalon verification method; diagnostics; information; medical; method; reference method; statistics; radiography; tomography; entropy; standard.*

**Введение.** Современный этап развития медицины в мире, в том числе и в Российской Федерации, характеризуется развитием и внедрением новых методов, способов диагностики, позволяющих повысить своевременность, точность и достоверность диагностических мероприятий в различных областях и направлениях медицины. Учитывая современное состояние развития медицинской диагностической техники, оснащённость данной техникой медицинских учреждений страны и не оперативная её доступность для населения способствовало и привело к появлению и активному развитию новых направлений в области лучевой диагностики, к которым относятся:

- а) цифровая и пленочная рентгенография;
- б) компьютерная томография [1];
- в) магнитно-резонансная томография.

Современные томографы не оснащены программным и информационным обеспечением, позволяющим осуществлять поддержку принятия решения при диагностике заболевания, и тем самым не позволяют избежать ошибочных решений на конечном этапе постановки диагноза. Необходимо отметить отсутствие

томографов в районных центрах, городах прямого областного и краевого подчинения, не имеющих финансовых ресурсов для приобретения дорогостоящей диагностической аппаратуры. Как правило, компьютерные томографы находятся в диагностических центрах и употребляются в универсальных целях, то есть для отображения большого набора различных заболеваний, несмотря на это, вынесение решения по анализу состояния пациента зависит от медицинской энциклопедической эрудиции, обслуживающего рентгеновский аппарат или томограф рентгенолога. Следует отметить, что в области ЛОР и других заболеваний, необходимо констатировать наличие в практике диагностики посредством верификации состояния фрагментов биологических объектов, на примере лобных и верхнечелюстных пазух, лёгочных заболеваний следующей технологической последовательной цепочки, которая включает: «рентгенологическое изображение» диагностируемого объекта – заключение рентгенолога – врача клинициста, заказавшего диагностическое исследование», результатом которой является принятие решения по хирургическому или медикаментозному воздействию на пациента [2]. Недостатком, как показывает опыт специалистов в области ЛОР – заболеваний [3], является недостаточная эффективность диагностики в соответствии вышеупомянутой технологической диагностической цепочкой, которая составляет порядка 70%. Столь низкий уровень достоверности объясняется интуитивным качественным анализом рентгенографического изображения как рентгенологом, так и врачом клиницистом. С целью максимального исключения ошибочных решений при диагностировании состояний лобных и верхнечелюстных пазух пациентов предлагается автоматическое цифровое распознавание и идентификацию рентгенографических изображений в пленочном, электронном и компьютерно-томографическом представлении. Поэтому все вышеперечисленные проблемы очевидны и указывают на актуальность, инновационный, научный и прикладной характер темы, рассматриваемой в данной статье [4–6].

**Постановка задачи.** В данной работе акцент сделан на:

- 1) анализ рентгенографических изображений;
- 2) принятие решений на основании анализа этих изображений;
- 3) постановка диагноза на основании принятых решений.

Анализ рентгенографических изображений, принятие решений на основании анализа этих изображений, постановка диагноза на основании принятых решений подсистемой принятия решений медицинской автоматизированной информационной системой (МАИС) должны осуществляться путём разработки и применения программного и информационного обеспечения для обслуживания подсистемы принятия решений.

В условиях жесткой конкуренции рентгенография **имеет ряд преимуществ** относительно своих аналогов:

- 1) широкая доступность метода и лёгкость в проведении исследований;
- 2) для большинства исследований не требуется специальной подготовки пациента;
- 3) относительно низкая стоимость исследования;
- 4) снимки могут быть использованы для консультации у другого специалиста или в другом учреждении.

Рентгенография также **имеет ряд недостатков**:

- 1) статичность изображения – сложность оценки функции органа;
- 2) наличие ионизирующего излучения, способного оказать вредное воздействие на организм пациента;
- 3) рентгеновские изображения отражают суммарную рентгеновскую тень анатомических структур, в отличие от послойных серий изображений, получаемых современными томографическими методами;

4) рентгеновские снимки могут иметь низкий уровень информативности за счет зашумленности и слабой интенсивности полученного изображения [2, 7–9].

Важной задачей при анализе рентгенографических изображений медицинских биологических объектов и их фрагментов является решение задачи улучшения качества изображения.

С целью улучшения качества рентгеновских снимков и повышения их информативности был разработан алгоритм и реализовано программное обеспечение подсистемы программного обеспечения для их коррекции и анализа, включающая следующие функциональные возможности:

- 1) поворот, отражение и инвертирование изображения;
- 2) применение алгоритмов шумоподавления;
- 3) коррекция общей интенсивности изображения;
- 4) анализ областей методами математической статистики.

Вышеперечисленные функциональные возможности показаны на рис. 1–3.

В статье рассматриваются следующие этапы реализации проекта решения задач диагностики заболеваний, таких как: анализ рентгенографических изображений, принятие решений на основании анализа этих изображений, постановка диагноза на основании принятых решений путём разработки и применения программного и информационного обеспечения реализации методов верификации состояния фрагментов биологических объектов, как эффективных методов диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим и компьютерно-томографическим изображениям:

1) разработать цифровую модель представления исследуемого фрагмента (лобной и верхнечелюстной пазух) по его статическим отображениям (рентгенограмма, томограмма, диафаногамма);

2) разработать и адаптировать к признакам патологий объектов отоларингологической среды математическое и программное обеспечение для синтеза и анализа их адекватных моделей на основе статистической базы данных, сконструированной по имеющимся историям болезней пациентов городской клиники;

3) разработать методологию построения статистических портретов (образов) цифровых и пленочных изображений отоларингологических фрагментов с различными признаками заболеваний в соответствии с их возрастной классификацией - как основу автоматизированной экспертной системы поддержки принятия решения при вынесении советуемого решения в процессе диагностике.

#### **Реализация. Описание методов, используемых для диагностики**

**1. Метод сравнения с эталоном, основанный на математической статистике.** Область исследуемого объекта и его эталон представляем матрицами интенсивности яркости пикселей.

В качестве эталона выбираем такой фрагмент снимка, на котором имеет место постоянное значение интенсивности яркости, в работе в качестве эталона было принято изображение глазницы. Таким образом, представив лобную пазуху и глазницу в виде матриц  $X$  и  $Y$ , размерами  $n \times n$ , можно приступить к их математической обработке. Основные этапы алгоритма эталонного способа метода диагностики могут быть представлены следующим образом.

1. Первым этапом является вычисление нормированной гистограммы распределения уровней яркости фрагмента  $h_i(r_k)$  по формуле 1.

$$h_i(r_k) = \frac{n_k}{n_i}, \quad (1)$$

где  $n_i$  – общее количество пикселей в исходном фрагменте изображения,  $n_k$  – число пикселей изображения, уровень которых равен  $r_k$ .

Таким образом, гистограммная модель плотности распределения вероятностей яркости диагностически – информативных фрагментов рентгеновских изображений в носоподбородочной проекции позволяет:

- ◆ представить исследуемый фрагмент;
- ◆ оценить его яркостное распределение;
- ◆ сравнить с другими диагностически – информативными областями рентгенограммы и оценить состояние пациента.

Следующими этапами диагностики будет:

2. Второй этап. Сравнение между собой средних значений.

$$M^*[Y] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i = \bar{Y}_{cp} \text{ и } M^*[X] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \bar{X}_{cp}. \quad (2)$$

3. Третий этап. Сравнение между собой дисперсий.

$$D^*[X] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_{cp})^2 \text{ и } D^*[Y] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_{cp})^2. \quad (3)$$

4. Четвёртый этап. Вычисление среднеквадратического отклонения для области пазухи по формуле 4.

$$\sigma[X] = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_{cp})^2} \quad (4)$$

Пятый этап. Вычисление вариационного коэффициента для области пазухи по формуле 5.

$$v[X] = \frac{\sigma[X]}{M[X]} \quad (5)$$

Таким образом оценку состояния лобной пазухи или верхнечелюстной осуществим посредством отношений математических ожиданий объекта и эталона и с помощью вариационного коэффициента, определяемых отношением среднеквадратичных отклонений к математическим ожиданиям соответственно для каждой гистограмм. Патология лобной пазухи будет иметь место, если отношение между математическими ожиданиями соответствующих гистограмм объекта и эталона будет превышать единицу, а коэффициент вариации лобной пазухи или верхнечелюстной будет превышать соответствующий коэффициент эталона [10–12, 14, 15].

Недостатком эталонного способа при автоматической диагностике рентгенографического изображения является качество изображения такого выбранного фрагмента снимка, на котором имеет место постоянное значение интенсивности яркости. Данная погрешность может привести к существенному искажению качества результата обработки снимка и тем самым к неточному или неправильному диагнозу заболевания пациента, что может в некоторых случаях привести к неверному медикаментозному или хирургическому лечению.

**2. Метод, основанный на вычислении расстояния между изображениями эталона и исследуемой области.** Область исследуемого объекта и его эталон представляем матрицами интенсивности яркости пикселей. Проведя анализ матрицы яркости эталона, получаем среднее значение яркости пикселей. Формируем вспомогательную матрицу относительно небольшого размера, в зависимости от размера исследуемой области. Используем формулу 4 для вычисления расстояния между изображениями, которое представляет собой нормированные квадраты разностей интенсивности пикселей для каждого положения вспомогательной матрицы на исследуемой области.

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x',y'} (T(x',y') - I(x+x',y+y'))^2}{\sqrt{\sum_{x',y'} T(x',y')^2 * \sum_{x',y'} I(x+x',y+y')^2}} \quad (6)$$

где  $T$  – вспомогательная матрица яркости пикселей,  $I$  – матрица яркости пикселей исследуемой области.

Позиция, где коэффициент корреляции достигает своего наибольшего значения, является позицией наилучшего соответствия. Область вокруг позиции наилучшего соответствия, рассматривается как область с патологией, если отношение между средним значением вспомогательной матрицы и средним значением области наилучшего соответствия не превышает 0.85.

**3. Метод, основанный на вычислении оценки информативности эталона и исследуемой области.** Информативность рентгеновского изображения оценивается объемом полезной диагностической информации, которую врач получает при изучении снимка. В конечном итоге, она характеризуется различимостью на снимках деталей исследуемого объекта.

Область исследуемого объекта и его эталон представляем матрицами интенсивности яркости пикселей. Определяем для исследуемой области и эталона, характеризующие их информационные индексы, используя формулу 7.

$$Q = \sum_{x=0}^{x_{\max}} \sum_{y=0}^{y_{\max}} \left( \frac{2|I_{x,y} - I_{x,y+1}|}{I_{x,y} + I_{x,y+1}} \geq c_{\min}, 1.0 \right) \frac{1}{n} + \sum_{x=0}^{x_{\max}} \sum_{y=0}^{y_{\max}} \left( \frac{2|I_{x,y} - I_{x+1,y}|}{I_{x,y} + I_{x+1,y}} \geq c_{\min}, 1.0 \right) \frac{1}{n}, \quad (7)$$

где  $x_{\max}$  и  $y_{\max}$  – число пикселей в строке и столбце соответственно,  $I_{x,y}$  – яркость пикселя с координатами  $(x, y)$ ,  $c_{\min}$  – минимально воспринимаемый контраст (0.03 для реальных медицинских рентгенограмм),  $n$  – общее количество, рассматриваемых пикселей [16, 18–20].

**4. Реализация. Информационно-энтропийный метод диагностики.** Он основан на методе исчисления новой (непредсказуемой) и избыточной (предсказуемой) информации Клода Шеннона. При таком анализе мы рассчитываем показатель энтропии целевой области, рассчитываем максимальный показатель энтропии (исходя из количества уровней изображения), и, сравнивая полученные два значения, делаем вывод анализа (по принципу – чем больше энтропия, тем хуже). Данный подход также позволяет получить релевантный результат при условии хорошей ограниченности исследуемого объекта (исследуемый объект должен включать всю исследуемую область, и не включать ничего кроме этого) [13, 16, 17].

При векторном описании изображения среднее количество информации в изображении равно энтропии источника:

$$H(f) = - \sum_{t=1}^t P(f_t) \log P(f_t). \quad (8)$$

Данный подход предполагает реализацию следующего алгоритма:

- 1) исследуемое изображение рентгеновского снимка разбивается на отдельные участки – сегменты;
- 2) размеры участка могут варьироваться в зависимости от наличия априорной информации об искомом признаке патологии (размер исследуемого фрагмента лобной, носоподбородочной области, области грудной клетки и т.д.);

3) оцифровка фрагмента – участка заключается в его декомпозиции – анализе в виде размеров точки, с ранее заданной масштабной сеткой налагаемой на исследуемый снимок;

4) масштаб сетки формируется в процессе диагностики, то есть выполняется адаптация;

5) каждый фрагмент представляется в виде матрицы значений размером  $n \times n$  денситометрического параметра: плотности яркости или черноты;

б) каждая матрица в соответствии со стандартным алгоритмом обработки отображается в виде гистограммы распределений частности денситометрии параметра с последующим определением основных числовых характеристик: среднее арифметическое, выборочная (исправленная) дисперсия, среднеквадратическое отклонение (СКО), коэффициент вариации для оценки гистограммы. В результате каждая гистограмма является основой для оценки соответствующего сегмента снимка среднестатистической и максимальной энтропией в стандартных единицах измерения битах.

**Примеры практической реализации программного и информационного обеспечения методов верификации медицинских объектов.** Экранная форма для работы с фрагментами исследуемого объекта посредством выделения эталонной области объекта показана на рис. 1.

Экранная форма для работы посредством выделения эталонного и исследуемого фрагмента объекта области объекта показана на рис. 2.

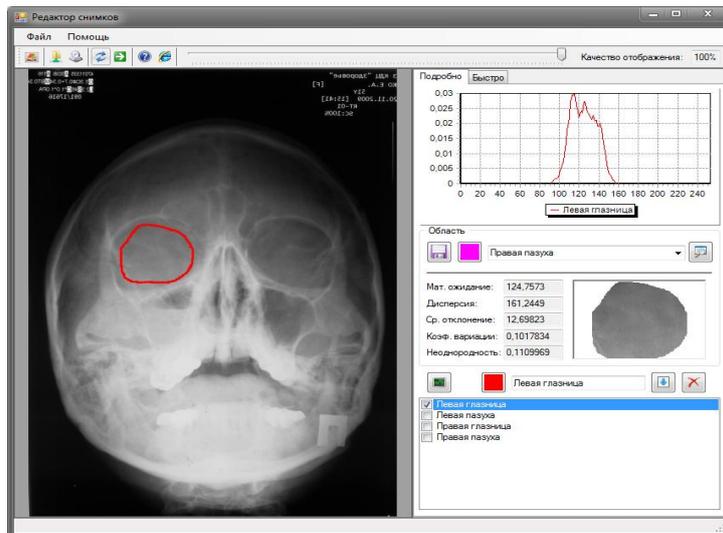


Рис. 1. Выделение эталонной области объекта

Пример экранной формы с результатами обработки эталонного и исследуемого фрагмента объекта показан на рис. 3.

На рис. 4 отдельно показан результат обработки исследуемого объекта при реализации метода диагностики, основанный на математической статистике, когда патология фрагмента исследуемого объекта отсутствует.

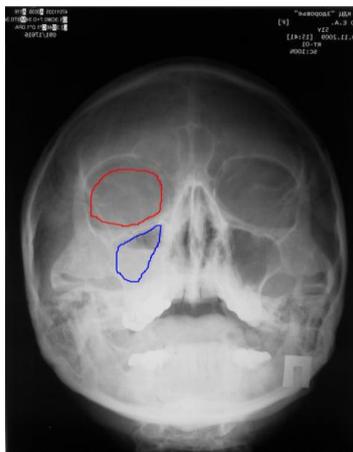


Рис. 2. Выделение эталонного и исследуемого фрагмента объекта

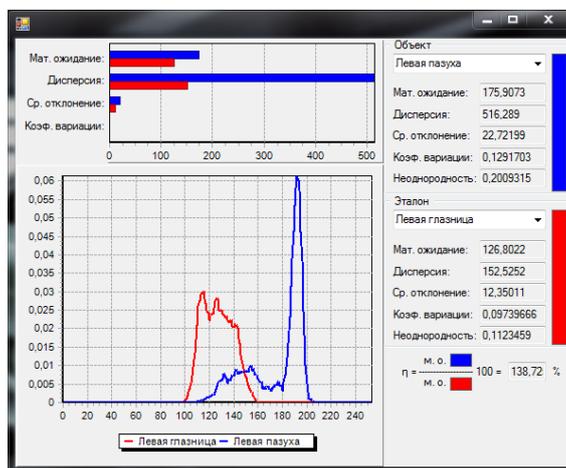


Рис. 3. Результаты обработки эталонного и исследуемого фрагмента объекта



Рис. 4. Отсутствие патологии фрагмента исследуемого объекта

На рис. 5 отдельно показан результат реализации метода диагностики, основанный на математической статистике, когда патология исследуемого объекта присутствует.



Рис. 5. Наличие патологии исследуемого объекта расстояния между изображениями эталона и исследуемой области

Вся информация об оцифрованных рентгеновских снимках пациентов хранится в электронном виде в базе данных (БД).

Первоначально база данных не содержит никакой информации, поэтому для работы с программным обеспечением медицинской автоматизированной системы необходимо наполнить БД. То есть работа с системой начинается с процедуры наполнения БД информацией оцифрованных рентгеновских снимков пациентов.

Интерфейс диалогового окна «Форма базовой информации о пациенте» для заполнения БД показан на рис. 6.

Снимки, содержащиеся в базе данных, предназначены для выполнения над ними процедур редактирования и анализа в процессе постановки диагноза.

Поэтому одним из очень ответственных этапов работы с данной МАИС является заполнение базы данных. В программном и информационном обеспечении предусматривается два режима занесения информации в базу данных:

- 1) режим «Подробно»;
- 2) режим «Быстро».

Базовым режимом работы при заполнении БД является режим «Подробно».

Рис. 6. Диалоговое окно «Форма базовой информации о пациенте».

Если требуется быстрое заполнение базы данных (БД) большим количеством новых снимков, то необходимо перейти из режима «Подробно» в режим «Быстро». Интерфейс экранной формы окна режимов работы «Подробно» и «Быстро» показан на рис. 7.

В данной системе предоставляется возможность оперировать шаблонными названиями с уже заранее заданными цветами. Поэтому выделять области можно выбирая их шаблонные названия с уже заданными цветами. В сегменте «Данные пациента» часть полей будет автоматически заполнено, их так же можно изменить. Кнопка «Следующий» сохранит введенные данные и позволит выбрать новый снимок.

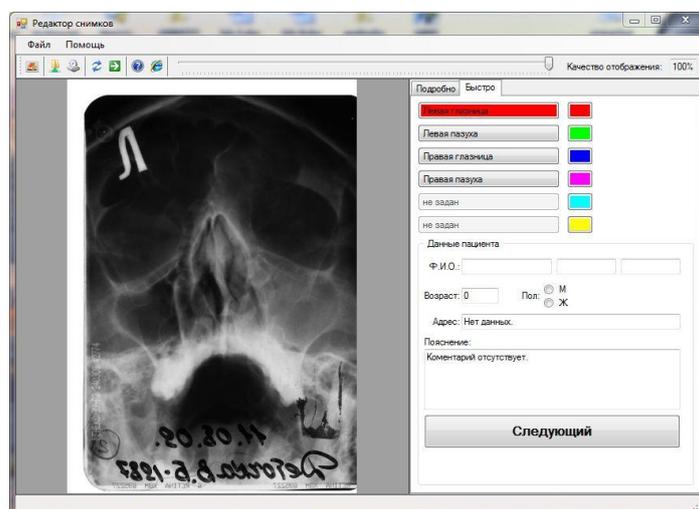


Рис. 7. Экранная форма быстрого заполнения базы данных

**Научная новизна. Результаты.** Научная новизна заключается в синтезе программного и информационного обеспечения медицинской автоматизированной информационной системы при реализации, применении методов верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям для диагностики заболеваний и использовании для этого статистических параметров (математическое ожидание, дисперсия, гистограмма, коэффициент вариации, коэффициент корреляции) для количественной оценки состояний лобной или верхнечелюстной пазухи и их идентификации в соответствии с классом патологий при диагностике пациента в автоматическом режиме по рентгенографическим (томографическим) изображениям. Это позволило получить следующие результаты:

- 1) разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм обработки рентгенографических изображений с использованием эталонного и безэталонного – информационно-энтропийного способов метода диагностики инвариантного к видам заболеваний (параназальных пазух при ЛОР – заболеваниях, бронхо-лёгочных заболеваниях);
- 2) это позволило повысить качество обработки рентгенографических снимков и как следствие точность диагностики заболеваний;
- 3) разработанное программное обеспечение позволило повысить степень автоматизации процесса обработки рентгенографических снимков с элементами автоматической обработки, что позволяет формализовать процедуру постановки диагноза;
- 4) разработано программное обеспечение, реализующее алгоритмы обработки статистических параметров (гистограмма, математическое ожидание, коэффициент вариации) для количественной оценки состояний лобной или верхнечелюстной пазухи и их идентификации в соответствии с классом патологий при диагностике пациента в автоматическом режиме по рентгенографическим и томографическим изображениям;

5) разработано информационное обеспечение – структура базы данных в виде набора связанных таблиц для хранения базовой информации о пациентах и процессе диагностики и лечения [18–20];

6) информационное обеспечение реализовано с возможностью инвариантности хранимой информации и моделей методов (способов) диагностики с целью возможности адаптации для различных лечебных учреждений;

7) результаты работы прошли апробацию на девяти международных и семнадцати Всероссийских научно-технических конференциях.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Блинов Н.Н., Мазуров А.И.* Что впереди? // Медицинская техника. – 2006. – № 5. – С. 3-6.
2. *Блинов Н.Н., Мазуров А.И.* Проблемы расширения диагностических возможностей медицинской рентгенотехники // Медицинская техника. – 2011. – № 5. – С. 1-5.
3. *Волков А.Г.* Лобные пазухи. – Ростов-на-Дону: Изд-во «Феникс», 2000. – 512 с.
4. *Мухин Ю.Ю., Лебедев Г.С.* Подходы к параметрической оценке и сопоставлению функций медицинских информационных систем // Информационно-измерительные системы. – 2013. – № 10. – Т. 11. – С. 19-27.
5. *Гусев А.В., Романов Ф.А., Дуданов И.П., Воронин А.В.* Медицинские информационные системы: монография. – Петрозаводск: Петр.ГУ, 2005. – 404 с.
6. *Рожкова Н.И., Кочетова Г.П.* Динамика технической оснащённости диагностической службы Российской Федерации за 2002–2010 гг. // Медицинская техника. – 2012. – № 2. – С. 1-5.
7. *Волков А.Г., Самойленко А.П., Проскуряков А.В.* Метод диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим изображениям // X Международная научно-техническая конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2012). – 2012. – С. 63-67.
8. *Самойленко А.П., Проскуряков А.В.* Способы реализации метода диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим изображениям // Сб. трудов XI Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2014). – 2014. – С. 71-75.
9. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* АРМ поддержки принятия решений при диагностике ЛОР-заболеваний медицинской интегрированной автоматизированной информационной диагностической системы // Сб. трудов XI Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2014). – 2014. – С. 68-72.
10. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Подсистема математического и программного обеспечения поддержки принятия решений на базе способов диагностики заболеваний по рентгеновским снимкам «Медицинской автоматизированной диагностической информационной системы» // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2015. – № 1. – С. 34-43. ISSN 1561-1531.
11. *Проскуряков А.В., Смерчинский Д.В.* Информационное обеспечение интегрированной автоматизированной системы обработки данных результатов обследования в медицинском учреждении // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2015. – № 2. – С. 30-39. – ISSN 1561-1531.
12. *Проскуряков А.В.* Реализация способов диагностики заболеваний в медицинской автоматизированной информационной системе поддержки принятия решений // Сб. трудов XII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2016). Владимир, Суздаль, 2016. – С. 303-307.
13. *Тарасов Н.В., Проскуряков А.В.* Реализация алгоритма информационно-энтропийного анализа медицинских рентгенографических и томографических снимков // Матер. IV Всероссийской научно-технической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности» (ФПАКТИБ'2018). – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2018. – С. 461-465.
14. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Формирование статистического образа для распознавания состояния репаративного процесса костных тканей // Сб. трудов XIII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2018). Владимир, Суздаль, 2018. – С. 205-209.

15. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Методология верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям // Сб. трудов XIII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2018). Владимир, Суздаль, 2018. – С. 209-212.
16. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Метод построения статистических портретов при реализации безэталонного способа обработки и анализа медицинских рентгенографических и томографических снимков // Сб. материалов XVI Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Информационные технологии, системный анализ и управление» (ИТСаиУ-2018). Ростов, Таганрог, 2018. – С. 207-213.
17. *Проскуряков А.В.* Реализация безэталонного способа обработки медицинских рентгенографических и томографических снимков для диагностики заболеваний // Матер. Всероссийской научнотехнической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко «КомТех-2019». Ростов, Таганрог, 2019. – С. 156-164.
18. *Проскуряков А.В.* Верификация состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям // Матер. Всероссийской научнотехнической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко «КомТех-2019». Ростов, Таганрог, 2019. – С. 169-175.
19. *Проскуряков А.В.* Синтез информационной системы верификации фрагментов медицинских биологических объектов для диагностики заболеваний на базе методов системно-концептуального подхода // Сб. материалов XVII Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Информационные технологии, системный анализ и управление» (ИТСаиУ-2019). Ростов, Таганрог, 2019. – С. 207-213.
20. *Проскуряков А.В.* Медицинская автоматизированная информационная система поддержки принятия решения для диагностики заболеваний с использованием верификации состояния фрагментов медико-биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям // Информатизация и связь. – 2020. – № 3. – С. 55-60.

## REFERENCES

1. *Blinov N.N., Mazurov A.I.* Chto vpered? [What's ahead], *Meditsinskaya tekhnika* [Medical equipment], 2006, No. 5, pp. 3-6.
2. *Blinov N.N., Mazurov A.I.* Problemy rasshireniya diagnosticheskikh vozmozhnostey meditsinskoj rentgenotekhniki [Problems of expanding diagnostic capabilities of medical X-ray equipment], *Meditsinskaya tekhnika* [Medical equipment], 2011, No. 5, pp. 1-5.
3. *Volkov A.G.* Lobnye pazukhi [Frontal sinuses]. Rostov-on-Don: Izd-vo «Feniks», 2000, 512 p.
4. *Mukhin Yu.Yu., Lebedev G.S.* Podkhody k parametricheskoj otsenke i sopostavleniyu funktsiy meditsinskikh informatsionnykh sistem [Approaches to parametric assessment and comparison of functions of medical information systems], *Informatsionno-izmeritel'nye sistemy* [Information and measurement systems], 2013, No. 10, Vol. 11, pp. 19-27.
5. *Gusev A.V., Romanov F.A., Dudanov I.P., Voronin A.V.* Meditsinskie informatsionnye sistemy: monografiya [Medical information systems: monograph]. Petrozavodsk: Petr.GU, 2005, 404 p.
6. *Rozhkova N.I., Kochetova G.P.* Dinamika tekhnicheskoy osnashchennosti diagnosticheskoy sluzhby Rossiyskoj Federatsii za 2002–2010 g.g. [Dynamics of technical equipment of the diagnostic service of the Russian Federation for 2002-2010], *Meditsinskaya tekhnika* [Medical equipment], 2012, No. 2, pp. 1-5.
7. *Volkov A.G., Samoylenko A.P., Proskuryakov A.V.* Metod diagnostiki sostoyaniya paranazal'nykh pazukh po ikh rentgenograficheskim izobrazheniyam [A method for diagnosing the condition of the paranasal sinuses by their radiographic images], *X Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Fizika i radioelektronika v meditsine i ekologii» (FREME'2012)* [X International Scientific and Technical Conference "Physics and Radio Electronics in Medicine and Ecology" (FREME'2012)], 2012, pp. 63-67.
8. *Samoylenko A.P., Proskuryakov A.V.* Sposoby realizatsii metoda diagnostiki sostoyaniya paranazal'nykh pazukh po ikh rentgenograficheskim izobrazheniyam [Methods of realization of the method of diagnostics of the paranasal sinuses by their radiographic images], *Sb. trudov XI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Fizika i radioelektronika v meditsine i ekologii» (FREME'2014)* [Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference "Physics and Radio Electronics in Medicine and Ecology" (FRAME'2014)], 2014, pp. 71-75.

9. Proskuryakov A.V., Samoilenko A.P. ARM podderzhki prinyatiya resheniy pri diagnostike LOR-zabolevaniy meditsinskoj integrirovannoy avtomatizirovannoy informatsionnoy diagnosticheskoy sistemy [Decision support ARM in the diagnosis of ENT diseases of the medical integrated automated information diagnostic system], *Sb. trudov XI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Fizika i radioelektronika v meditsine i ekologii» (FREME'2014)* [Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference "Physics and Radioelectronics in medicine and ecology" (FRAME'2014)], 2014, pp. 68-72.
10. Proskuryakov A.V., Samoilenko A.P. Podsystema matematicheskogo i programmogo obespecheniya podderzhki prinyatiya resheniy na baze sposobov diagnostiki zabolevaniy po rentgenovskim snimkam «Meditsinskoj avtomatizirovannoy diagnosticheskoy informatsionnoy sistemy» [Subsystem of mathematical and software support for decision-making based on methods of diagnosis of diseases based on X-ray images of the "Medical automated diagnostic information system"], *Promyshlennyye ASU i kontrolyery* [Industrial automated control systems and controllers], 2015, No. 1, pp. 34-43. ISSN 1561-1531.
11. Proskuryakov A.V., Smerechinskiy D.V. Informatsionnoe obespechenie integrirovannoy avtomatizirovannoy sistemy obrabotki dannykh rezul'tatov obsledovaniya v meditsinskom uchrezhdenii [Information support of the integrated automated data processing system of examination results in a medical institution], *Promyshlennyye ASU i kontrolyery* [Industrial automated control systems and controllers], 2015, No. 2, pp. 30-39. ISSN 1561-1531.
12. Proskuryakov A.V. Realizatsiya sposobov diagnostiki zabolevaniy v meditsinskoj avtomatizirovannoy informatsionnoy sisteme podderzhki prinyatiya resheniy [Implementation of methods for diagnosing diseases in a medical automated information system for decision support], *Sb. trudov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Fizika i radioelektronika v meditsine i ekologii» (FREME'2016)* [Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference "Physics and Radio Electronics in Medicine and Ecology" (FREME'2016)]. Vladimir, Suzdal', 2016, pp. 303-307.
13. Tarasov N.V., Proskuryakov A.V. Realizatsiya algoritma informatsionno-entropiynogo analiza meditsinskikh rentgenograficheskikh i tomograficheskikh snimkov [Implementation of the algorithm of information-entropy analysis of medical radiographic and tomographic images], *Mater. IV Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Fundamental'nye i prikladnye aspekty komp'yuternykh tekhnologiy i informatsionnoy bezopasnosti» (FPAKTIB'2018)* [Materials of the IV All-Russian Scientific and Technical Conference "Fundamental and Applied Aspects of Computer Technology and Information Security" (FPAKTIB'2018)]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2018, pp. 461-465.
14. Proskuryakov A.V., Samoilenko A.P. Formirovanie statisticheskogo obraza dlya raspoznavaniya sostoyaniya reparativnogo protsessa kostnykh tkaney [Formation of a statistical image for recognition of the state of the reparative process of bone tissues], *Sb. trudov XIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Fizika i radioelektronika v meditsine i ekologii» (FREME'2018)* [Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference "Physics and Radioelectronics in Medicine and Ecology" (FRAME'2018)]. Vladimir, Suzdal', 2018, pp. 205-209.
15. Proskuryakov A.V., Samoilenko A.P. Metodologiya verifikatsii sostoyaniya fragmentov biologicheskikh ob'ektov po komp'yuterno-tomograficheskim izobrazheniyam [Methodology of verification of the state of fragments of biological objects using computed tomographic images], *Sb. trudov XIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Fizika i radioelektronika v meditsine i ekologii» (FREME'2018)* [Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference "Physics and Radio Electronics in Medicine and Ecology" (FREME'2018)]. Vladimir, Suzdal', 2018, pp. 209-212.
16. Proskuryakov A.V., Samoilenko A.P. Metod postroeniya statisticheskikh portretov pri realizatsii bezetalonnogo sposoba obrabotki i analiza meditsinskikh rentgenograficheskikh i tomograficheskikh snimkov [The method of constructing statistical portraits when implementing a non-etalon method of processing and analyzing medical X-ray and tomographic images], *Sb. materialov XVI Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh «Informatsionnye tekhnologii, sistemnyy analiz i upravlenie» (ITSAIU-2018)* [Collection of materials of the XVI All-Russian Scientific Conference of students, postgraduates and young scientists "Information technologies, system analysis and management" (ITSAIU-2018)]. Rostov, Taganrog, 2018, pp. 207-213.

17. Proskuryakov A.V. Realizatsiya bezetalonного sposoba obrabotki meditsinskikh rentgenograficheskikh i tomograficheskikh snimkov dlya diagnostiki zabolevaniy [Implementation of a non-etalon method of processing medical radiographic and tomographic images for the diagnosis of diseases] *Mater. Vserossiyskoy nauchnotekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem imeni professora O.N. P'yavchenko «KomTekh-2019»* [Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation named after Professor O.N. Piavchenko "kOmtEch-2019"]. Rostov, Taganrog, 2019, pp. 156 -164.
18. Proskuryakov A.V. Verifikatsiya sostoyaniya fragmentov biologicheskikh ob"ektov po kom'yuterno-tomograficheskim izobrazheniyam [Verification of the state of fragments of biological objects by computer tomographic images], *Mater. Vserossiyskoy nauchnotekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem imeni professora O.N. P'yavchenko «KomTekh-2019»* [Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation named after Professor O.N. Piavchenko "kOmtEch-2019"]. Rostov, Taganrog, 2019, pp. 169-175.
19. Proskuryakov A.V. Sintez informatsionnoy sistemy verifikatsii fragmentov meditsinskikh biologicheskikh ob"ektov dlya diagnostiki zabolevaniy na baze metodov sistemno-kontseptual'nogo podkhoda [Synthesis of an information system for verifying fragments of medical biological objects for the diagnosis of diseases based on methods of a system-conceptual approach], *Sb. materialov XVII Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Informatsionnye tekhnologii, sistemnyy analiz i upravlenie» (ITSAiU-2019)* [Collection of materials of the XVII All-Russian Scientific Conference of Students, postgraduates and young scientists "Information technologies, system analysis and management" (ITSAiU-2019)]. Rostov, Taganrog, 2019, pp. 207-213.
20. Proskuryakov A.V. Meditsinskaya avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema podderzhki prinyatiya resheniya dlya diagnostiki zabolevaniy s ispol'zovaniem verifikatsii sostoyaniya fragmentov mediko-biologicheskikh ob"ektov po komp'yuterno-tomograficheskim izobrazheniyam [Medical automated information system for decision-making support for the diagnosis of diseases using verification of the state of fragments of biomedical objects using computed tomographic images], *Informatizatsiya i svyaz'* [Informatization and communication], 2020, No. 3, pp. 55-60.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.И. Витиска.

**Проскуряков Александр Викторович** – Южный федеральный университет; e-mail: avproskuryakov@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +78634371673; кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ; старший преподаватель.

**Proskuryakov Alexander Viktorovich** – Southern Federal University; e-mail: avproskuryakov@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371673; the department of mathematical support and computer application; senior lecturer.

УДК 681.03.245

DOI 10.18522/2311-3103-2022-2-212-225

**В.В. Золотарев, А.О. Поважнюк, Е.А. Маро**

### **МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ ПРОЦЕДУРЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LIVENESS DETECTION\***

*Биометрические системы идентификации и контроля доступа содержат методы распознавания личности субъекта на основе уникальных физиологических и поведенческих характеристик. Целью данной работы является разработка системы безопасного взаимодействия (аутентификации) участников геймифицированных образовательных проектов, включающая в себя противодействие угрозам безопасности, возникающим при использова-*

\* Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 19-013-00711.