

БИОМЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.891.3

**СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ УЗКОНАПРАВЛЕННОЙ 3D-МОДЕЛИ
ОРГАНОВ ЗРЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА****Л. А. Коробова**, к.т.н., доцент кафедры ИТМиУ ВГУИТ, Воронеж, Россия;

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

Т. А. Эйнуллаев, магистр кафедры ИТМиУ ВГУИТ, Воронеж, Россия;

orcid.org/0009-0004-5589-933X, e-mail: tagieinullaev@mail.ru

Рассматриваются вопросы разработки и использования цифрового двойника, позволяющего проводить тестирование узконаправленной медицинской диагностической системы. Целью работы является разработка 3D-модели органов зрения человека. Задача разработки диагностической системы выявления патологий при любых визуальных изменениях глаз или появлении неприятных ощущений в глазах становится актуальной. Такие системы диагностики в совокупности с самим пользователем позволяют выявлять заболевания глаз на ранних стадиях, а также, в свою очередь, известить пользователя об общем состоянии здоровья. Давно доказано, что своевременные исследования «окон души», выявление изменений в кровеносных сосудах позволяют говорить об обнаружении какого-либо недуга, например о потере памяти и других когнитивных нарушениях. По изменениям радужных оболочек глаз определяют заболевания, не связанные с болезнями глаз. Причина этого в том, что глаза – это часть организма, в котором все находится во взаимосвязи. В данном исследовании предпринята попытка разработки цифровой модели глаз человека для дальнейшего использования ее в системе поддержки принятия решения определения состояния здоровья организма человека.

Ключевые слова: *диагноз, узконаправленная система, 3D-модель, неинвазивные исследования, диагностика, виртуальный образ, собственный уровень, многомасштабное моделирование*

DOI: 10.21667/1995-4565-2024-89-117-126**Введение**

Указом Президента России № 490 от 10.10.2019 [1] была утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта (ИИ) в Российской Федерации на период до 2030 г., направленная на то, чтобы Россия стала одной из стран-лидеров в области ИИ. Одним из ключевых направлений стратегии является развитие в нашей стране для здравоохранения рынка программных продуктов на основе ИИ. На сегодняшний момент на рынке медицины и здравоохранения существует около 65 систем на основе ИИ. Профиль таких систем различный. Основные направления охватывают:

- анализ медицинских изображений и цифровую диагностику;
- профилактику и лечение состояний, заболеваний и осложнений;
- прочие направления исследовательского и организационного характера.

Цифровизации медицинских услуг [2] уделяется огромное значение, и в эту сферу вкладываются большие инвестиции (рисунок 1).

Сегмент медицинских информационных систем является одним из приоритетных. Разработке программных продуктов для базовой автоматизации услуг медицинской отрасли уделяется особое внимание. Активно развиваются такие направления, как телемедицина, мобильные приложения для пациентов и системы искусственного интеллекта. Разрабатываются

кроссплатформенные приложения в помощь врачам при постановке диагноза, принятии врачебных решений и назначении терапии [3, 4, 5]. Создаются разноплановые гаджеты в помощь пациентам для доврачебной диагностики и персональные диагностические устройства.

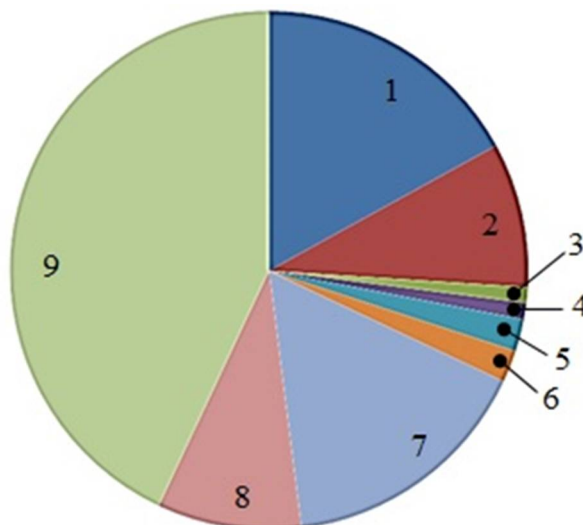


Рисунок 1 – Инвестиции в российское цифровое здравоохранение в 2014 – 2023 г. по секторам рынка: 1 – телемедицина 17 %; 2- прочие 9 %; 3 – СППВР 1 %; 4 – цифровая диагностика 1 %; 5 – интернет вещей 2 %; 6 – генетика 2 %; 7 – медицинское страхование 16 %; 8 – искусственный интеллект 9 %; 9 – сервисы для пациентов

Figure 1 – Investments in Russian digital healthcare in 2014–2023 by market sectors: 1 – telemedicine 17 %; 2 – other 9%; 3 – CDSS 1 %; 4 – digital diagnostics 1 %; 5 – internet of Things 2 %; 6 – genetics 2 %; 7 – medical insurance 16 %; 8 – artificial intelligence 9 %; 9 – patient services

Теоретическая часть

Бесконтактные неинвазивные исследования стали доступны в связи с развитием и применением современных технологических компонентов цифровой обработки медицинской информации. Имитационное и 3D-моделирование, компьютерная графика оказывают в этом неоценимую помощь. Имитационные и 3D-модели основываются на физических и биологических процессах, происходящих внутри человека. Информацию врач получает с КТ или МРТ-снимков. Диагностика по медицинским изображениям стала привычным делом. Но методы распознавания изображений и визуализация структуры органов продолжают совершенствоваться.

Все системы медицинской диагностики являются системами поддержки принятия решений. Основным инструментом в них является ИИ, который и предлагает врачу предполагаемый диагноз. Медицинский работник на основе своих знаний и практических навыков выносит окончательный диагноз.

При рассмотрении системы диагностики глаз выделено два направления работы ИИ. Первое – рассмотрение состояния глаза как самостоятельной системы, на собственном уровне. Задачей такой системы является определение, здоров глаз или нет. Если глаз здоров, то ИИ направляет свою работу на рассмотрение радужки глаза по схеме иридодиагностики. Второе – если ИИ определяет, что присутствует заболевание глаз, то включается в работу модуль системы поддержки принятия решения (СППР) о диагностике заболеваний глаз на основе нечеткой логики.

С учетом анализа СППР врача-офтальмолога разработана функциональная модель узконаправленной профильной системы диагностики глазных заболеваний. Применена методология графического моделирования IDEF0 (рисунок 2).



Рисунок 2 – Контекстная диаграмма верхнего уровня IDEF0 [6]

Figure 2 – IDEF0 High-Level Context Diagram [6]

Перед началом обследования врач-офтальмолог проводит словесный опрос для установления первичного диагноза. Далее требуется объективная оценка состояния глаз. Процесс установки диагноза при проведении комплексного обследования глаз включает в себя следующие этапы:

- проверку остроты зрения и рефракцию;
- определение внутриглазного давления;
- определение толщины и однородности структуры роговицы;
- определение длины глаза;
- исследование состояния глазного дна;
- исследование уровня слезопродукции;
- определение поля зрения и прочее.

Проведенное обследование дает возможность врачу-офтальмологу установить диагноз. Для описания временной последовательности и алгоритмов выполнения работ используем методологию IDEF3, которая позволяет проводить переход от общей модели к поэтапному функционированию и обратно [6]. Укрупненный поэтапный процесс функционирования представлен на рисунке 3.

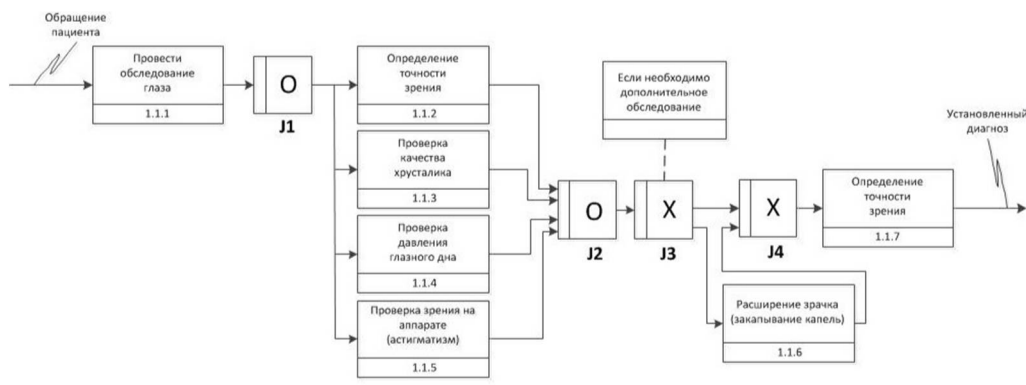


Рисунок 3 – Декомпозиция контекстной диаграммы в нотации IDEF3

Figure 3 – Decomposition of context diagram in IDEF3 notation

Приведенный алгоритм полагает обязательное личное присутствие пациента на приеме у врача-офтальмолога. В настоящее время все большее внимание уделяется бесконтактным неинвазивным способам в обследовании. Для этого необходимы разработки алгоритмов, основанных на виртуальных персональных моделях органов человека, учитывающих анатомию их структур и функций. К сожалению, подобные модели разрабатываются для использования специалистами. До настоящего времени в научных источниках не выявлено ни одной целостной визуальной компьютерной 3D-модели глаза с нанесенной на его радужной оболочке

схемы зон органов человеческого организма. Производственные компании медицинского профиля предлагают анатомические модели глаза человека в качестве обучающих наглядных пособий для студентов учебных заведений медицинского профиля. Такие модели могут быть целыми или разборными, различных размеров: в натуральную величину или увеличенных размеров для наглядности восприятия. Производятся модели-макеты зарубежными компаниями. В данной работе представлена 3D-модель как результат моделирования глаза человека. Модель доступна и понятна обычному пользователю, проявляющему интерес к самодиагностике своего организма.

Математическое описание 3D-модели глаза человека представим в виде кортежа

$$M3D = \langle GM, SR, VR \rangle,$$

где GM – геометрическое соответствие формы и размеров, SR – структурное соответствие схемы зон органов человеческого организма, VR – визуальное соответствие физико-механических свойств. При разработке 3D-модели использованы данные медицинских изображений, функциональных и лабораторных исследований, которые разрабатывались в соответствии с экспериментальными данными [7, 8].

Экспериментальные исследования

На сегодняшний момент все большее значение приобретает определение состояния отдельных органов человека по изображениям (фото, видео и др.). Цели и задачи таких исследований могут быть различны: кто-то из пользователей задается вопросом общего состояния своего здоровья, кто-то интересуется состоянием отдельных органов. Одним из инструментов для этого предлагается использовать компьютерное моделирование, в частности 3D-моделирование. В качестве исходных данных для разработки 3D-модели глаз человека, учитывающей анатомию их структуры и функций органа, использованы экспериментальные данные, приведенные в литературных источниках [7, 8, 9]. Создание виртуальной персональной 3D-модели глаз человека проводилось при использовании бесплатной программы Blender [10]. Данное программное обеспечение (ПО) находится в свободном доступе, имеет открытый исходный код и множество необходимых функций. Таким образом, 3D-моделирование рассматривается как один из элементов теории многомасштабного моделирования.

Для применения в процессе диагностики ИИ СППР необходимо смоделировать виртуальный образ здоровых глаз, их структуру, визуализацию возможных заболеваний. При разработке «идеальной» 3D-модели глаза (эталона) также были использованы идеализированные данные из специальных медицинских открытых источников [11, 12].

Blender обладает обширным набором инструментов для моделирования, текстурирования, анимации, рендеринга и др. ПО Blender имеет активное сообщество пользователей, а также множество онлайн-ресурсов и учебных материалов. Это облегчает процесс обучения и решение возникающих вопросов. Выбор данного ПО также обосновано тем, что оно поддерживается различными операционными системами, включая Windows, macOS и Linux, и обеспечивает удобство использования на разных платформах.

Процесс создания 3D-модели условно разделяют на следующие этапы: создание блок-модели; скульптинг; текстурирование; рендеринг.

Рассмотрим поэтапное моделирование глаз.

Этап 1. Создание блок-модели является первым и фундаментальным этапом в процессе 3D-моделирования, служа основой для развития деталей и текстур. На этом этапе начинается формирование простой геометрической формы, такой как куб или сфера, что создает общую композицию будущей модели. Главная цель – определить общую структуру объекта, не утруждаясь деталями.

Определение общих размеров и пропорций – это важный шаг, направленный на точную установку основных параметров модели. Проводится пробная расстановка элементов внутри блок-модели, определяется, например, расположение ключевых частей модели. Таким образом, этот этап позволяет создать начальный визуальный облик объекта.

Создание блок-модели не является завершённым этапом, а лишь отправной точкой для последующего развития модели. Далее блок-модель периодически проверяется на согласованность с изначальной концепцией. В конечном итоге получают общую форму блок-модели, которая соответствует поставленным целям проекта.

Блок-моделирование служит лишь фундаментом для создания высококачественной 3D-модели, обеспечивая начальный каркас модели. В дальнейшем модель будет добавляться деталями, усложняться и обогащаться текстурами, формируя окончательный визуальный образ объекта.

На этом этапе с помощью горящих клавиш было вызвано контекстное меню и создан объект (блок-модель) в виде шара или сферы. После этого сфера была масштабирована и перемещена в середину экрана для удобства работы с объектом.

Этап 2. Скульптинг – творческий процесс 3D-моделирования, при котором форма объекта формируется свободно и интуитивно, подобно работе с глиной или другими моделирующими материалами. Этот метод позволяет манипулировать моделью, добавляя детали и выделяя особенности, и ориентирован на творчество.

Особенности скульптинга включают использование инструментов сглаживания, растягивания, формирования и других для манипуляции поверхностью модели. Этот интуитивный подход близок к реальной скульптуре, что делает процесс более естественным и творческим.

Скульптинг применяется часто для создания органических форм, таких как персонажи, животные или природные объекты, где важны плавные переходы и детали. Такой метод моделирования добавляет натуральность и уникальность объектам, позволяя воплотить творческие идеи. Благодаря своей гибкости и творческому характеру, скульптинг является мощным инструментом для создания визуально впечатляющих 3D-моделей. С помощью инструментов скульптинга в Blender была создана выпуклость, которая показывает рогову.

Переход в режим скульптинга происходит после выбора вкладки *Sculpting mode* в строке выбора функций (рисунок 4).

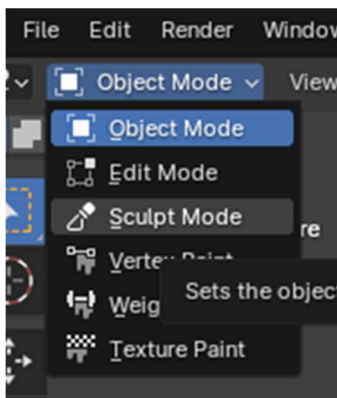


Рисунок 4 – Меню вкладки *Sculpting mode* ПО Blender

Figure 4 – *Sculpting mode* tab menu in Blender software

После выбора и настройки необходимого инструмента (кисти) была смоделирована на сфере выпуклость под рогову.

Этап 3. Текстурирование в контексте 3D-моделирования представляет собой процесс добавления поверхностных деталей и изображений на 3D-модель для создания визуально реалистичного вида. Эта фаза играет ключевую роль в придании модели цвета, текстуры и визуальной глубины.

Основная задача текстурирования – придать поверхности объекта визуальные характеристики, такие как цвет, оттенок и особенности материала. Часто используется изображение, называемое текстурой, которое накладывается на поверхность модели и определяет её внешний вид.

Процесс текстурирования начинается с расстановки UV-разверток, что представляет собой разворачивание 3D-модели в 2D-пространство, чтобы текстура корректно применялась. Это позволяет контролировать, как текстура будет наложена на каждую часть модели.

В ходе текстурирования художник также может использовать различные методы, такие как бамп-маппинг или нормал-маппинг, чтобы добавить высокочастотные детали к модели без добавления большого количества геометрии. Это средства, позволяющие улучшить реалистичность текстурированных объектов. Текстурирование также включает в себя работу с материалами и освещением, что дополнительно влияет на визуальное восприятие объекта для достижения желаемого эффекта: регулировка отражений, блеска и других аспектов. Итоговая текстурированная 3D-модель, обогащенная цветами и деталями, приобретает реалистичный внешний вид, что делает ее более привлекательной и подходящей для визуализаций.

В разрабатываемой 3D-модели глаза была попиксельно прорисована и раскрашена по схеме рисунка 2 радужка глаза (рисунок 5).

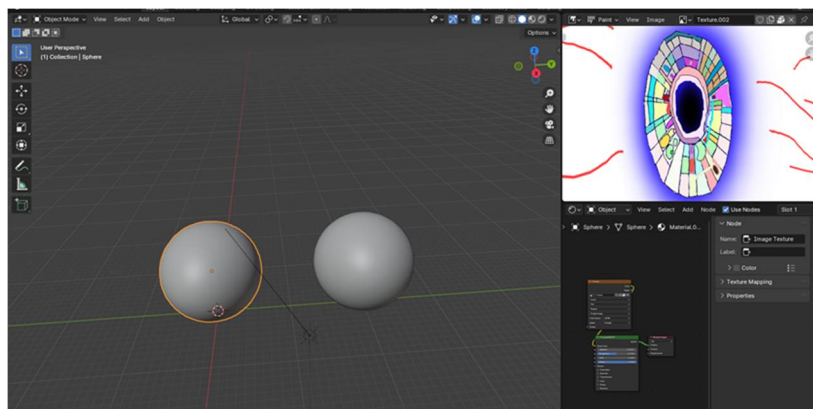


Рисунок 5 – Фрагмент создания 3D-модели глаза на этапе текстурирования
Figure 5 – Fragment of an eye 3D model creation at texturing stage

Этап 4. Рендеринг в контексте 3D-графики представляет собой процесс создания изображения из трехмерной виртуальной сцены. Этот этап включает в себя использование компьютерных программ и алгоритмов для преобразования трехмерных моделей в 2D-изображения с учетом освещения, материалов и других параметров.

Важной частью рендеринга является расчет освещения, который определяет, как свет воздействует на поверхности объектов в сцене. Это включает в себя бросание теней, формирование отражений и преломлений света, что придает изображению реализм и объем.

Дополнительные элементы, такие как материалы и текстуры, также учитываются в процессе рендеринга. Программы рендеринга позволяют задавать характеристики материалов, их отражающие и поглощающие свет, а текстуры применяются для добавления деталей и реалистичности.

Техника рендеринга может быть разной, включая растеризацию, лучевую трассировку и другие методы. Растеризация использует пиксели для отображения изображения, в то время как лучевая трассировка моделирует путь света через сцену, что может быть более ресурсоемким, но обеспечивает более реалистичные результаты.

Процесс рендеринга также включает в себя управление разрешением изображения, настройку параметров камеры и выбор подходящих настроек для достижения желаемого визуального эффекта. Результатом успешного рендеринга является готовое 2D-изображение, представляющее трехмерную сцену с высокой степенью реализма.

На 4-м этапе были созданы камера и источник света, а далее создан рендер изображения. С помощью комбинации клавиш Shift + A вызвано контекстное меню создания объектов и созданы камера и свет «Sun». Далее проводилась настройка расположения камеры с использованием для этого команды Numpad 0 и регулированием местоположения камеры с помо-

щью команд: $G + (x, y, z)$ -перемещение и $R + (x, y, z)$ -поворот. Вид 3D-модели на данном этапе представлен на рисунке 6.

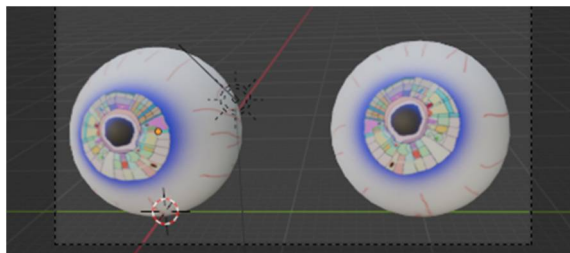


Рисунок 6 – Фрагмент создания 3D-модели глаза на этапе рендеринга
Figure 6 – Fragment of an eye 3D model creation at rendering stage

Включаем режим отображения рендера, чтобы настроить свет, перемещаем свет с помощью $G + (x, y, z)$ и направляем его на глаза с помощью точки направления (рисунок 7).

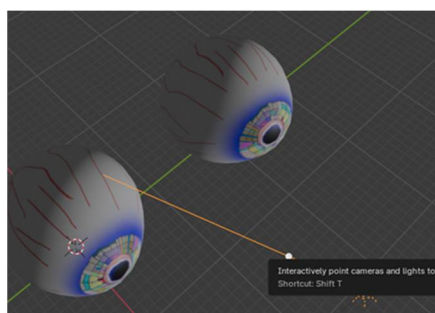


Рисунок 7 – Фрагмент создания 3D модели глаза на этапе рендеринга с направленным светом
Figure 7 – Fragment of the creation of a 3D model of an eye at the rendering stage with directional light

Выбираем в строке контекстного меню Render -> Render Image, чтобы сгенерировать картинку 3D модели. И в новой вкладке выбираем Image -> Save as. Модель сохранена (рисунок 8).

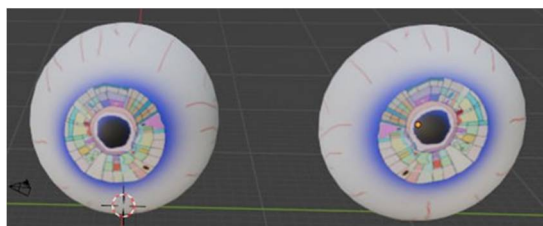


Рисунок 8 – Итог создания 3D-модели глаза с иридологической схемой
Figure 8 – The result of an eye 3D model creation with iridological diagram

В итоге разработана 3D-модель глаза с иридологической схемой на радужной оболочке как имитация объекта или его частей в виртуальном пространстве [13]. Модель может быть использована при диагностике для принятия решения о состоянии организма человека в целом [14].

Тестирование разработанной модели глаза человека было проведено в рамках статического распознавания радужной оболочки глаза реального человека и эталонной модели. Тестирование продемонстрировало работоспособность модели (относительная погрешность при определении объекта как глаз составила 31,4 %).

На рисунке 9 показаны 3D-модели глаза с различными текстурами. Разработка 3D-моделей также проведена в программе Blender.

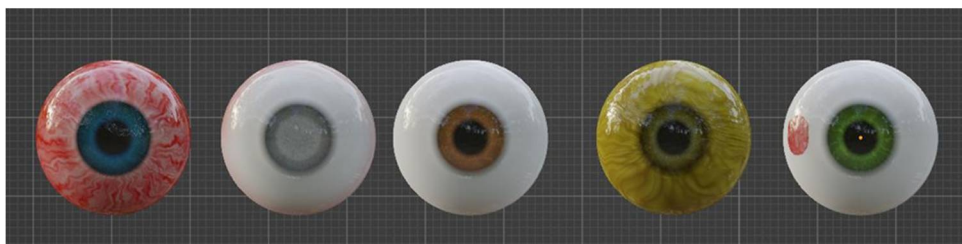


Рисунок 9 – 3D-модели глаза:

- 1 – раздраженный больной глаз; 2 – «слепой» глаз; 3 – здоровый глаз;
4 – глаз пациента с желтухой; 5 – глаз с лопнувшим сосудом**

Figure 9 – 3D models of the eye:

- 1 – irritated diseased eye; 2 – "blind" eye; 3 – healthy eye;
4 – eye of a patient with jaundice; 5 – eye with a burst vessel**

Заключение

В рамках данной статьи представлен алгоритм разработки эталонной 3D-модели глаза как начального этапа создания СППР узкопрофильной диагностической системы. Проведено функциональное моделирование процесса разработки узкопрофильной диагностической системы и этапов обследования глаз. Разработана 3D-модель глаз с иридологической схемой на радужной оболочке для имитации объекта или его частей в виртуальном пространстве. Представлены 3D-модели глаза с различными текстурами. Модель может быть использована при диагностике глазных заболеваний и может служить основой для принятия решения о состоянии здоровья организма человека по радужной оболочке глаза.

Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. N 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) – Текст: электронный – URL: <https://base.garant.ru/72838946/> Загл. с экрана (дата обращения: 30.03.2024)
2. Гусев А.В. Обзор российских инвестиций в цифровое здравоохранение – Текст : электронный – URL: <https://webiomed.ru/blog/obzor-rossiiskikh-investitsii-v-tsifrovoye-zdravookhranenie/> Загл. с экрана (дата обращения: 13.01.2024)
3. Гладких Т.В., Коробова Л.А. Разработка системы поддержки принятия решений на основе исследований статистических данных для диагностики заболеваний // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2018. № 66. – С. 130-138. – EDN PKITTD.
4. Коробова Л.А., Гладких Т.В. Разработка модели принятия решения для постановки диагноза заболеваний на основе нечеткой логики // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80, № 4(78). – С. 80-89. – EDN RJTMUW.
5. Гладких Т.В., Коробова Л.А., Толстова И.С. Применение нечетких множеств для диагностики глазных заболеваний // Инновации в создании материалов и методов для современной медицины: Материалы региональной конференции, Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2020. – С. 161-167. – EDN KDANAV.
6. Абрамов Г.В., Медведкова И.Е., Коробова Л.А. Проектирование информационных систем : Учебное пособие // Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2012. – 172 с. – EDN ZVCUUV.
7. Иомдина Е.Н., Полоз М.В. Биомеханическая модель глаза человека как основа для изучения его аккомодационной способности. Российский журнал биомеханики. 2010. Т. 14. № 3(49). С.7-18.
8. Полоз М.В. Биомеханическая модель глазного яблока человека: дис. канд. физ.-мат. наук. Москва, 2011.
9. Жукова А. Виртуальные клоны: как цифровые двойники пациентов помогают врачам – Режим доступа: <https://scientificrussia.ru/articles/virtualnye-klony-kak-cifrovye-dvojniki-pacientov-pomogaut-vrчам> Загл. с экрана (дата обращения 21.02.2024)
10. Blender 4.1.0 Blender Foundation Текст: электронный – URL: <https://blender.ru.uptodown.com/windows> Загл. с экрана (дата обращения: 30.03.2024)

11. **Кански Д.Дж.** Клиническая офтальмология: систематизированный подход. Под ред. В.П. Еричева. М.: Логосфера, 2006. С. 517-522.
12. **Шамшинова А.М., Волков В.В.** В: Функциональные методы исследования в офтальмологии. М.: Медицина, 1999. С. 361–365.
13. **Краснопеева И.Ю., Сизых Т.П.** Иридодиагностика как скрининг-метод в клинике внутренних болезней // БМЖ. 1998. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iridodiagnostika-kak-skrining-metod-v-klinike-vnutrennih-bolezney> (дата обращения: 27.01.2024).
14. Иридодиагностика: распознаем болезни по глазам – Текст: электронный – URL: <https://medbooking.com/blog/post/iridodiagnostika-raspoznajem-bolezni-po-glazam> Загл. с экрана (дата обращения 14.01.2024)

UDC 004.891.3

CREATION OF A VIRTUAL NARROW-DIRECTED 3D MODEL OF HUMAN VISION ORGANS

L. A. Korobova, Ph.D. (Tech.), Associate Professor of the Department of ITMiM VSUET, Voronezh, Russia; orcid.org/0000-0003-1349-732X, e-mail: lyudmila_korobova@mail.ru

T. A. Eynullaev, Master's Student, Department of ITMiM VSUET, Voronezh, Russia; e-mail: tagieinullaev@mail.ru

*The article discusses the development and use of a digital twin that allows testing a narrow-focused medical diagnostic system. **The aim of the work** is to develop a 3D model of human visual organs. The task of developing a diagnostic system for detecting pathologies with any visual changes in the eyes or the appearance of unpleasant sensations in the eyes is becoming relevant. Such diagnostic systems, together with a user himself, will allow detecting eye diseases at early stages, and in turn, inform a user about general state of health. It has long been proven that timely studies of "windows of the soul", identifying changes in blood vessels allow us to talk about the detection of any disease, for example, memory loss and other cognitive impairments. Diseases not associated with eye diseases are determined by changes in iris. The reason for this is that eyes are a part of the body in which everything is interconnected. In this study, an attempt to develop a digital model of human eye was made, for its further use in a decision support system to determine health status of human body.*

Keywords: diagnosis, narrow-focused system, 3D model, non-invasive research, diagnostics, virtual image, own level, multiscale modeling.

DOI: 10.21667/1995-4565-2024-89-117-126

References

1. Decree of the President of the Russian Federation of October 10, 2019 No 490 "On the Development of Artificial Intelligence in the Russian Federation" (with amendments and additions) - Text: electronic - URL: <https://base.garant.ru/72838946/> Title from the screen (date of access: 03/30/2024)
2. **Gusev A.V.** Review of Russian investments in digital healthcare – Text: electronic - URL: <https://webiomed.ru/blog/obzor-rossiiskikh-investitsii-v-tsifrovoe-zdravookhranenie/> Title from the screen (date of access: 01/13/2024)
3. **Gladkikh T.V., Korobova L.A.** Razrabotka sistemy podderzhki prinyatiya reshenij na osnove issledovaniy statisticheskikh dannyh dlya diagnostiki zabolevaniy. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radio-tekhnicheskogo universiteta*. 2018, no. 66, pp. 130-138. EDN PKITTD.(in Russian).
4. **Korobova L.A., Gladkikh T.V.** Development of a decision-making model for diagnosing diseases based on fuzzy logic. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2018, vol. 80, no. 4 (78), pp. 80-89.EDN RJTMUW. (in Russian)
5. **Gladkikh T.V., Korobova L.A., Tolstova I. S.** Application of fuzzy sets for diagnosing eye diseases. *Innovations in the creation of materials and methods for modern medicine: materials of the regional conference*, Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies, 2020, pp. 161-167. EDN KDANAV.

6. **Abramov G.V., Medvedkova I.E., Korobova L.A.** Design of information systems: A tutorial. Voronezh: *Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2012, 172 p. EDN ZVCUUV.
7. **Iomdina E.N., Poloz M.V.** Biomechanical model of the human eye as a basis for studying its accommodative capacity. *Russian Journal of Biomechanics*. 2010, vol. 14, no. 3(49). Pp.7-18.
8. **Poloz M.V.** Biomechanical model of the human eyeball: *Dis. Cand. Phys. and Mathematics. Sciences*. Moscow, 2011.
9. **Zhukova A.** Virtual clones: how digital doubles of patients help doctors – Access mode: <https://scientificrussia.ru/articles/virtualnye-klony-kak-cifrovye-dvojniki-pacientov-pomogaut-vracam> Title. from the screen (date of access 21.02.2024)
10. Blender 4.1.0 Blender Foundation Text: electronic – URL: <https://blender.ru.uptodown.com/windows> Title from the screen (date of access: 30.03.2024)
11. **Kansky D.J.** Clinical ophthalmology: a systematic approach. Ed. V.P. Elichev. Moscow: Logosfera, 2006, pp. 517-2.
12. **Shamshinova A.M., Volkov V.V.** In: Functional research methods in ophthalmology. Moscow: Medicine, 1999, pp. 361-365.
13. **Krasnopeeve I.Yu., Sizykh T.P.** Iridodiagnostika as a screening method in the clinic of internal diseases. *BMZh*. 1998, no. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iridodiagnostika-kak-skrining-metod-v-klinike-vnutrennih-bolezney> (date of access: 27.01.2024).
14. Iridodiagnostika: recognizing diseases by the eyes – Text: electronic - URL: <https://medbooking.com/blog/post/iridodiagnostika-raspoznajem-bolezni-po-glazam> Title. from the screen (date of access 14.01.2024)