

УДК 004.8

## МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Кудаева Ф.Х.<sup>1</sup>, Канкулов С.А.<sup>1,2</sup>, Кайгермазов А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Кабардино-Балкарский университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия

<sup>2</sup> Институт информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН,

ООО «ИНТИГРИС», Нальчик, Россия

kfatimat@yandex.ru, arslan1961@yandex.ru, skankulov@mail.ru

**Аннотация.** Настоящая работа посвящена применению методов искусственного интеллекта для решения проблем, возникающих в стоматологии при постановке диагноза. Проведен анализ существующих информационных технологий для диагностики в Кабардино-Балкарской республике, получена оценка экономической эффективности внедрения результатов работы, как бизнес-модель в Кабардино-Балкарской республике, приводятся методические рекомендации по внедрению и использованию результатов работы в медицину Кабардино-Балкарской республики. Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что разработанный проект «KeepSmiling 3D» может быть внедрен в любую стоматологическую клинику Кабардино-Балкарской республики. Результаты работы будут полезны стоматологическим клиникам, врачам-стоматологам, производителям зубных протезов.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, нейрокогнитивная архитектура, интеллектуальная интегрированная система, медицинская диагностика.

### I. ВВЕДЕНИЕ

Диагностика играет в медицине важнейшую роль. Значительный вклад в разработку систем медицинской диагностики для ЭВМ внесли отечественные и зарубежные ученые. Диагностика в стоматологии так же, как и в других медицинских специальностях, имеет свою специфику, и, вместе с тем, опирается на исторически сложившиеся общие для всех медицинских специальностей положения. Распознавание болезни осуществляется по ее симптомам, как явным, так и установленным с помощью специальных исследований, и основывается на определенных принципах.

За последние 50 лет системы искусственного интеллекта получили заметное развитие, что особенно явно отслеживается по скачку эффективности систем распознавания объектов на изображении, пришедшемся на последнее десятилетие. Работы в этой области проводились еще в середине 20 века. Имеется много публикаций, где в своих работах авторы проводят исследование с применением методов искусственного интеллекта. [7-17] В работе [1] приведена математическая модель абстрагирования для задачи распознавания образа. В работе [2] описано применение нечетких классификаторов для диагностики ряда сердечно-сосудистых заболеваний. Работы [2-6] посвящены распознаванию образов в изображениях.

Настоящая работа посвящена применению методов искусственного интеллекта, для принятия решения о принадлежности медицинского объекта к одному из заданных классов заболеваний в стоматологии, либо о том, что данный субъект не относится ни к одному из выделенных классов.

Цель работы исследование и экспериментальное обоснование научно-технических и проектно-функциональных решений по созданию конечного продукта - распределённого сервиса интеллектуальной интегрированной экспертной системы для принятия решений по постановке диагноза и выдаче рекомендаций для лечения пациентов, а также создание 3D модели капы для восстановления правильного прикуса.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Анализ существующих информационных технологий для диагностики в Кабардино-Балкарской республике;
2. Разработка системы сбора, комплексирования и обработки данных;
3. Разработка систем распознавания, принятия решений и управления, предназначенных для принятия решений по постановке диагноза и выдаче рекомендаций для лечения;
4. Разработка сайта, программного обеспечения для сервера и 3D модели капы, демонстрирующие принципиальную выполнимость поставленных научно-технических задач;
5. Оценка экономической эффективности внедрения результатов работы, как бизнес-модель в Кабардино-Балкарской республике;

6. Методические рекомендации по внедрению и использованию результатов работы в медицину Кабардино-Балкарской республики.

## II. БИЗНЕС – МОДЕЛЬ «KEEPSMILING 3D»

Бизнес-модель «Keepsmiling 3D», представляет собой систему, которая предназначена для многоразового использования при решении однотипных задач обслуживания целевой аудитории, совокупность, включающее в себя характеристику участников процесса, возможные выгоды участников, в результате обращения за консультацией на сайт, описание способов получения прибыли, используемый сервис.

Параметрами данной модели выступают: входящий поток заявок (требований), поступающие на сайт; канал обслуживания; очереди, ожидающих обслуживания; выходящий поток требований.

Для каждого клиента, который обращается на сайт для постановки диагноза, ценностью будет считаться наличие консультации, небольшая трата времени, качественная диагностика, которые можно получить по результатам использования разработанного программного комплекса. Прибыль от данного обращения будет составлять стоимость подписки на сервис - сайт в первые периоды времени, а затем ежегодный стабильный доход. Клиенты получают данную ценность по адекватной цене.

Предлагаемая бизнес-модель, является программным продуктом предоставляется в формате веб-сервиса на основе подписки. Это дает клиентам возможность использовать продукт мо-

ментально, сэкономив время на установку программного обеспечения и обучение.

Система мероприятий по продвижению продукта на рынке включают в себя:

- переговоры о сотрудничестве с международными, государственными и общественными организациями, занимающимися проблемами диагностики и протезировании зубов;
- использование Интернет-сайта и социальных сетей компании для популяризации технологии и рекламы продукции;
- участие в профильных выставках;
- использование социальной рекламы, подчеркивающей инновационный аспект широкого внедрения технологии.
- сотрудничество с медицинскими клиниками, многие из которых проявляют интерес к данной разработке.

Стратегия удержания клиентов:

Для приобретения и удержания текущих потребителей, увеличения продаж, компания планирует использовать следующие механизмы:

- усовершенствование программного обеспечения с максимально возможным учетом потребностей клиентов;
- организация широкой сервисной сети послепродажного обслуживания,
- организация акций, системы бонусов и скидок.

Основными требованиями для оценки качества разработанной бизнес-модели выступают следующие критерии:

- необходимость качественной оценки удовлетворения ожиданий клиентов;

- необходимость оперативного выявления отклонений реальных результатов от запланированных и «проблемных зон» реализации политики по удовлетворению потребностей клиентов;
- необходимость формирования базы для принятия стратегических и тактических управленческих решений при реализации целей бизнес-модели.

Оценка качества оказания услуг бизнес-модели в работе рассматривается как процесс исследования уровня удовлетворенности клиентов различными процессами, с которыми они сталкиваются при получении услуги: диагностика, лечебный процесс, поддерживающий процесс (инфраструктура), процесс сервиса (контактный персонал), процесс маркетинга (имидж компании).

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Для распознавания и диагностики заболеваний использованы системы принятия решений на основе мульти-агентной нейрокогнитивной архитектуры.

Нейрокогнитивная архитектура состоит: из рациональных программных агентов-нейронов, целевой функции, которая подлежит максимизации энергии, приобретаемой ими при переходе в те, или иные состояния. Программные агенты действуют проактивно, поэтому на каждом шаге дискретного времени они решают задачу синтеза плана поведения на несколько шагов вперед вплоть до горизонта планирования.

Распознавание статических объектов основано на обучении мульти-агентных нейрокогнитивных архитектур, на вычислительной абстракции мультиагентных нейрокогнитивных

систем, демонстрирующих архитектурное соответствие самоорганизующимся нейрокогнитивным сетям головного мозга.

Разработан программно-аппаратный комплекс, состоящий из веб-сайта, программы - преобразователя изображения (для выделения границ зубов и формирования данных для передачи), и интеллектуальной экспертной системы определения диагноза и составления плана лечения.

Новизна разработанного комплекса:

1. Функционал: постановка диагноза, рекомендации для лечения, автоматическое моделирование и проектирование;
2. Технология распознавания: мультиагентная нейрокогнитивная интеллектуальная система;
3. Присутствует автоматическое моделирование и проектирование;
4. Способ диагностики: загрузка ортопантограммы пациента;
5. Имеется возможность создания картотеки пациента;
6. Количество пациентов не ограничена;
7. Безопасный облачный сервис;
8. Количество устройств не ограничена;
9. Поддерживаемые устройства: устройства, с наличием браузера;
10. Стоимость от 8 640 руб. в год в зависимости от функционала.

Проведен сравнительный анализ по 11 технико-экономическим характеристикам, включая количественные, качественные и стоимостные характеристики созданного инновационного продукта с зарубежными и отечественными аналогами.

Из проведенного сравнительного анализа следует, что конкурентными

преимуществами создаваемого продукта являются: использование технологии искусственного интеллекта; автоматическое моделирование и проектирование; максимальная точность постановки диагноза; доступ к сервису с любого устройства при наличии сети интернет; экономия времени врачей и специалистов в стоматологии; автоматическая передача результатов диагностики всем профильным специалистам.

Работа сервиса обслуживания состоит в следующем: пациент и стоматолог загружают свои данные на сервер: общие сведения о пациенте и его физических данных, рентгеновские снимки. Зуботехник получает автоматически спроектированную модель капы или зубного протеза для производства.

В личном кабинете врач может редактировать свой профиль, пополнить счет и получить сведения о текущих подписках. Отсюда возможно и продление.

Пациент в своем личном кабинете тоже может редактировать свой профиль, сообщать о состоянии и получать рекомендации. Из своего личного кабинета пациент также может добавлять и просматривать рентгеновские снимки.

Каждая модель интеллектуального агента соответствует фактору определенного типа. Сверху располагаются сенсоры и эффекторы. Далее проводится описание с помощью существительных, глаголов и прилагательных.

На рис.1 содержится изображение цифровой модели челюсти. Данная программа разработана для выделения на снимке замкнутых цветовых областей. Справа находится диаграмма Вороного. Она описывает пространствен-

ное отношение между близко расположенными точками или их ближайшими соседями. Это множество соединённых

многоугольников, полученных из точек или локаций. Каждая линия «области» Вороного находится между двумя точками.

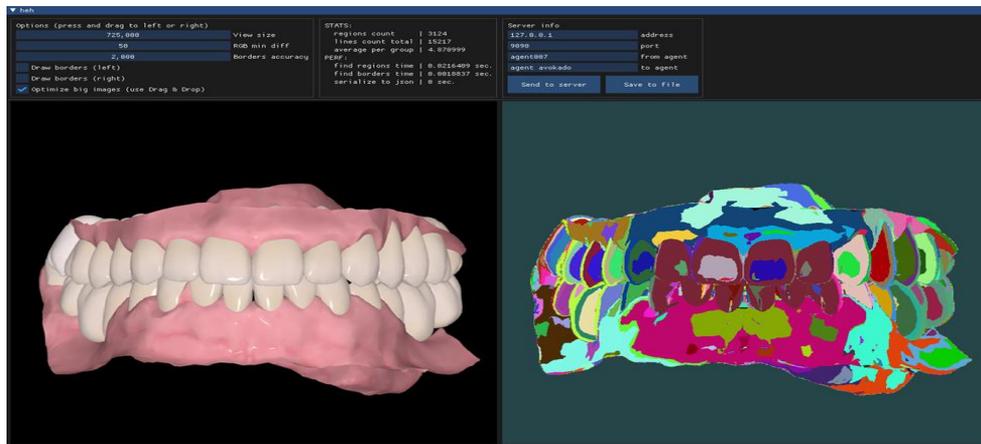


Рис. 1. Изображение цифровой модели челюсти

На рис.2 видны выделенные области модели. Для этого надо обойти каждый пиксель картинки. Составляется группа по принципу поиска в ширину, разрешена рекурсия. Далее обводим группы по принципу выхода из лабиринта по правилу левой руки. Составлен универсальный паттерн следования: ход ладьи, ход слона, ход слона с

соседом слева под углом 45°. Затем группы оптимизируются. Удаляем точки с развернутым углом. Для больших групп выкидываем условно каждые 9 и 10 точек, или аппроксимируем, например, методом линейной регрессии. Все алгоритмы имеют сложность  $O(n)$ .

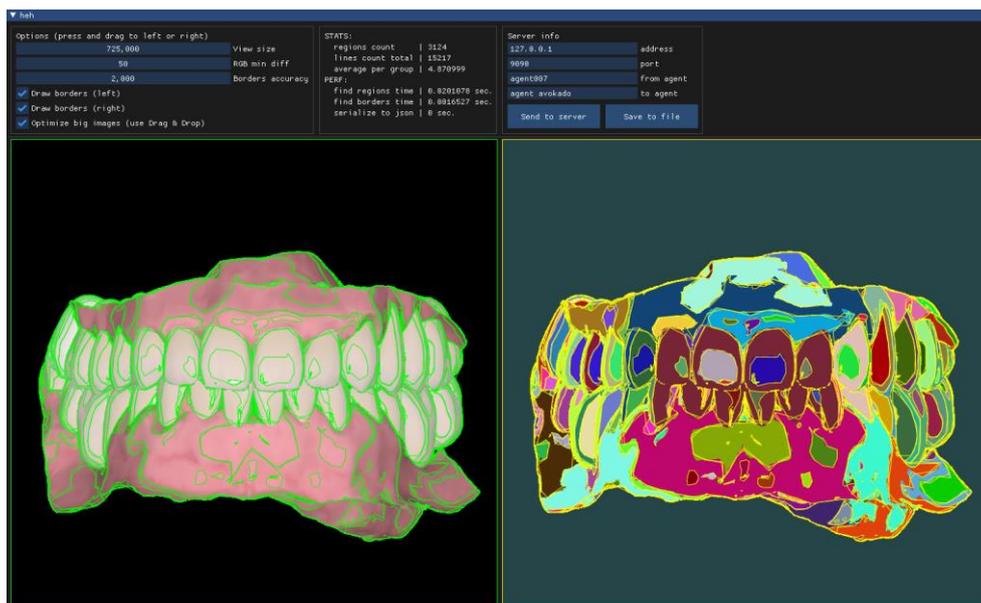


Рис. 2. Изображение цифровой модели челюсти

Вид слева цифровой модели изображен на рис.3, а рис. 4 содержит изображение цифровой модели челюсти в «раскрытом» виде.

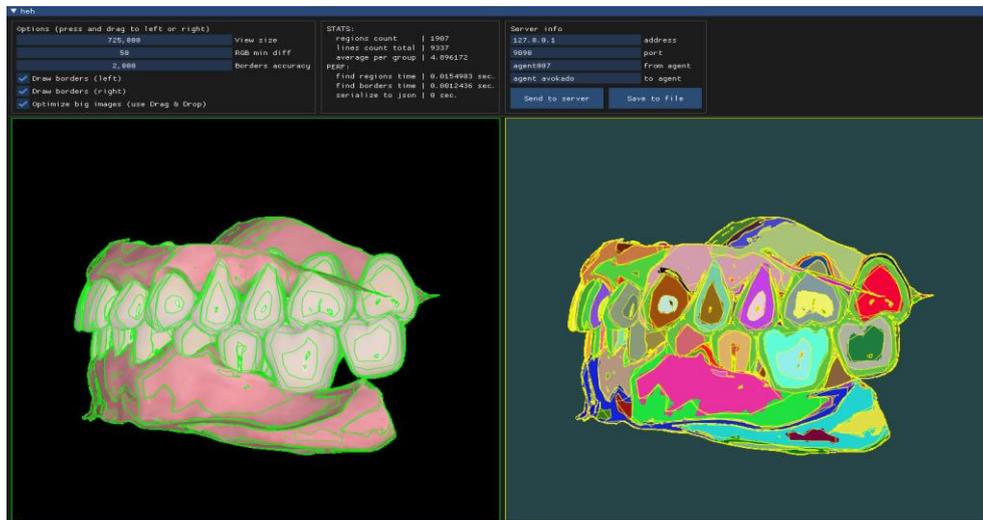


Рис. 3. Изображение цифровой модели челюсти (вид слева)

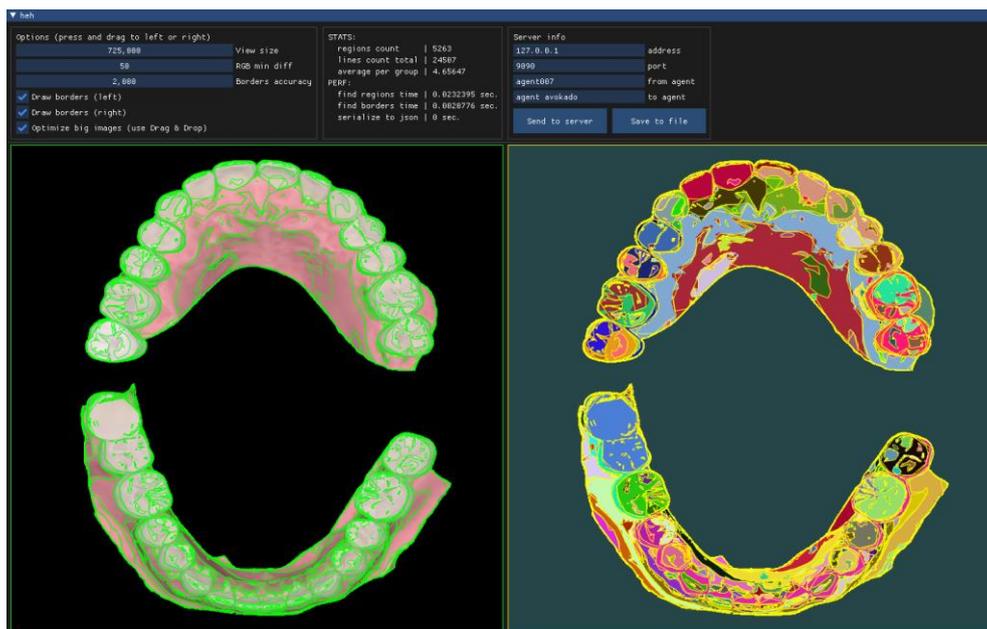


Рис. 4. Изображение цифровой модели челюсти (в «раскрытом» виде)

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе получены следующие результаты: разработан веб-сайт и сервис интеллектуальной интегрированной системы «Keepsmiling 3D» по определению диагноза пациента с неправильно сформированными зубами и

прикусом. Интеллектуальная подсистема сервиса реализуется с помощью экспертной системы на основе мультиагентной рекурсивной когнитивной архитектуры, позволяющая решать задачи распознавания, принятия решений и управления. Подсистема сбора и

предварительного анализа данных будет собирать и комплексировать многомодальные данные с рентгеновского снимка на сервер, на котором будет развернута экспертная система.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что разработанный проект «KeepSmiling 3D» может быть внедрен в любую стоматологическую клинику Кабардино-Балкарской республики. Экономическая эффективность предлагаемых в работе мер обусловлена тем, что внедряемый бизнес-модель окупится после начала ее эксплуатации и в последующем будет приносить стабильный доход. Результаты работы будут полезны стоматологическим клиникам, врачам-стоматологам, производителям зубных протезов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Петров Ю.К.* К вопросу о распознавании образа // Известия ТПУ. 1968. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-raspoznavanii-obraza>.
- [2] *Иванов В.Г., Крылов Б.А.* Распознавание образов в изображениях // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2007. №40. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspoznavanie-obrazov-v-izobrazheniyah>.
- [3] *Шахин Г.* Сравнительный анализ библиотек компьютерного зрения // Colloquium-journal. 2019. №24 (48). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-bibliotek-kompyuternogo-zreniya>.
- [4] *Лузуев Т.С.* Методы компьютерного анализа выражения человеческого лица // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. №5 (142). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-kompyuternogo-analiza-vyrazheniya-chelovecheskogo-litsa>.
- [5] *Ергалиев Д. С.* Сравнительный анализ методов распознавания образов // НиКа. 2011. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-metodov-raspoznavaniya-obrazov>.
- [6] *Царев А. Г.* Принципы и методы автоматического распознавания образов // НиКа. 2010. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsiy-i-metody-avtomaticheskogo-raspoznavaniya-obrazov>.
- [7] *He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J.* Deep residual learning for image recognition // Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. 7780459, P. 770-778. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7780459>
- [8] *Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A.* You only look once: Unified, real-time object detection // Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. 7780460, с. 779-788. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7780460>
- [9] *Ганцев Ш.Х., Франц М.В.* Искусственный интеллект как инструмент поддержки в принятии решений по диагностике онкологических заболеваний // Медицинский вестник Башкортостана. 2018. №4 (76). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-kak>

- instrument-podderzhki-v-prinyatii-resheniy-po-diagnostike-onkologicheskikh-zabolevaniy.
- [10] Гаврилов Д.А., Закиров Э.И., Гамеева Е.В., Семенов В.Ю., Александрова О.Ю. Автоматизированная диагностика меланомы кожи на основе математической модели искусственной сверточной нейронной сети // *Research'nPracticalMedicineJournal*. 2018. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-diagnostika-melanomy-kozhi-na-osnove-matematicheskoy-modeli-iskusstvennoy-svertochnoy-neyronnoy-seti>.
- [11] Лучинин А.С. Искусственный интеллект в гематологии//*Клиническая онкогематология*. 2022. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article>
- [12] Lee, S., Kim, D., Jeong, H.-G. Detecting 17 fine-grained dental anomalies from panoramic dental radiography using artificial intelligence//*Scientific Reports*. 2022. 12(1),5172. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-09083-2>.
- [13] Liu, C., Wang, L., Lu, W. and others Computer vision-aided bioprinting for bone research//*Bone Research*. 2022. 10(1),21. URL: <https://www.nature.com/articles/s41413-022-00192-2>.
- [14] Lee, J.-G., Jun, S., Cho, Y.-W. and others Deep learning in medical imaging: General overview // *Korean Journal of Radiology*. 2017. 18(4), с. 570-584.
- URL:  
<https://www.kjronline.org/DOIx.php?id=10.3348/kjr.2017.18.4.570>.
- [15] Neumann, Ł., Nowak, R., Stępień, J., Solan, R., Jahnz-Różyk, K. Thermography based skin allergic reaction recognition by convolutional neural networks // *Scientific Reports*. 2022. 12(1). 2648. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-06460-9>.
- [16] Нагоев З.В. Интеллектика, или мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2013. С. 16.
- [17] Нагоев З.В., Пшенокова И.А., Канкулов С.А., Аталиков Б.А., Айран А.А. Формальная модель мультиагентного поиска оптимального плана поведения интеллектуального агента на основе самоорганизации распределенных нейрокогнитивных архитектур. Нальчик: Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН № 3 (101) 2021.
- [18] Ходашинский И.А. Нечеткие классификаторы в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний. Обзор// *СМЖ*. 2020. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nечеткие-классификаторы-v-diagnostike-serdechno-sosudistyh-zabolevaniy-obzor>.

Поступила в редакцию 12.11.2022

**Цитирование:** Кудаева Ф.Х., Канкулов С.А., Кайгермазов А.А. (2022). Методы искусственного интеллекта в медицинской диагностике. *Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросы Цифровых Технологий*, 2(2), –С. 7-15.

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN MEDICAL DIAGNOSTICS

*Kudayeva F.Kh.<sup>1</sup>, Kankulov S.A.<sup>1,2</sup>, Kaygermazov A.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>"Kabardino-Balkarian State University", Nalchik, Russia,

<sup>2</sup>Institute of Informatics and Problems of Regional Management, KBNC RAS, Nalchik, Russia

kfatimat@yandex.ru, arslan1961@yandex.ru, skankulov@mail.ru

**Abstract.** *This work is devoted to the application of artificial intelligence methods to solve problems that arise in dentistry when making a diagnosis. The analysis of existing information technologies for diagnostics in the Kabardino-Balkar Republic is carried out, an assessment of the economic efficiency of the implementation of the results of work as a business model in the Kabardino-Balkar Republic is obtained, methodological recommendations for the implementation and use of the results of work in the medicine of the Kabardino-Balkar Republic are given. The practical significance of the results obtained lies in the fact that the developed project "Keep Smiling 3D" can be implemented in any dental clinic of the Kabardino-Balkarian Republic. The results of the work will be useful to dental clinics, dentists, manufacturers of dentures.*

**Keywords:** *Artificial intelligence, neurocognitive architecture, intelligent integrated system, medical diagnostics*