

UDK:-616.31-07:616.314-089.2:004

# ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТОМАТОЛОГИИ: ОТ ДИАГНОСТИКИ ДО ПРОТЕЗИРОВАНИЯ

Алиходжаев Самандар Сардорovich

Научный руководитель: PhD, Associate Professor, **Хатамов Улугбек Алтибавич**  
(KIUT) Ташкентский Международный Университет Кимё

## Аннотация.

Цифровая стоматология представляет собой современное направление, которое объединяет достижения информационных технологий, инженерии и медицины для оптимизации диагностики, планирования лечения и протезирования. В последние годы цифровые методы прочно вошли в клиническую практику, обеспечивая более высокую точность, прогнозируемость и комфорт для пациента. В статье рассматриваются ключевые технологии, применяемые в цифровой стоматологии: искусственный интеллект (ИИ) для анализа диагностических данных, системы трёхмерного (3D) и внутриротового сканирования, CAD/CAM-комплексы (CAD (Computer-Aided Design) и CAM (Computer-Aided Manufacture) для проектирования и изготовления реставраций, а также применение технологий дополненной (AR) и виртуальной (VR) реальности в хирургии. Проанализированы преимущества, ограничения и перспективы внедрения цифровых решений в стоматологическую практику. Особое внимание уделено вопросам совместимости программного обеспечения, точности сканирования и экономической эффективности.

**Ключевые слова:** цифровая стоматология, искусственный интеллект, 3D-сканирование, CAD/CAM, внутриротовой сканер, дополненная реальность, виртуальная реальность, протезирование, цифровая хирургия.

## Annotatsiya

Raqamli stomatologiya zamonaviy yo'nalish bo'lib, diagnostika, davolashni rejalashtirish va protezlashni optimallashtirish uchun axborot texnologiyalari, muhandislik va tibbiyot yutuqlarini o'zida birlashtiradi. So'nggi yillarda raqamli usullar klinik amaliyotga chuqur kirib bordi, shu bilan birga bemorlar uchun yuqori aniqlik, oldindan aytish mumkin bo'lgan natijalar va qulaylikni ta'minlamoqda. Maqolada raqamli stomatologiyada qo'llaniladigan asosiy texnologiyalar ko'rib chiqiladi: diagnostik ma'lumotlarni tahlil qilish uchun sun'iy intellekt (SI), uch o'lchamli (3D) va og'iz ichi skanerlash tizimlari, restavratsiyalarni loyihalash va tayyorlash uchun CAD/CAM (Computer-Aided Design va Computer-Aided Manufacture) komplekslari, shuningdek, jarrohlik amaliyotida to'ldirilgan (AR) va virtual (VR) reallik texnologiyalarining qo'llanilishi.

Raqamli yechimlarni stomatologik amaliyotga joriy etishning afzalliklari, cheklovlari va istiqbollari tahlil qilingan. Bunda dasturiy ta'minotning mosligi, skanerlashning aniqligi va iqtisodiy samaradorlik masalalariga alohida e'tibor qaratilgan.

**Kalit so'zlar:** raqamli stomatologiya, sun'iy intellekt, 3D-skannerlash, CAD/CAM tizimlari, og'iz ichi skaneri, kengaytirilgan reallik, virtual reallik, protezlash, raqamli jarrohlik.

## Annotation

Digital dentistry represents a modern direction that combines the achievements of information technology, engineering, and medicine to optimize diagnosis, treatment planning, and prosthetics. In recent years, digital methods have firmly entered clinical practice, ensuring higher accuracy, predictability, and patient comfort.

The article examines the key technologies used in digital dentistry: artificial intelligence (AI) for analyzing diagnostic data, three-dimensional (3D) and intraoral scanning systems, CAD/CAM (Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacture) complexes for designing and manufacturing restorations, as well as the application of augmented reality (AR) and virtual reality (VR) technologies in surgery.

The advantages, limitations, and prospects of implementing digital solutions in dental practice are analyzed. Particular attention is paid to issues of software compatibility, scanning accuracy, and economic efficiency.

**Keywords:** digital dentistry, artificial intelligence, 3D scanning, CAD/CAM systems, intraoral scanner, augmented reality, virtual reality, prosthetics, digital surgery

**Введение.** За последние десятилетия стоматология переживает стремительную цифровую трансформацию. Современные технологии радикально изменили подходы к диагностике, лечению и протезированию, сделав возможным то, что ещё недавно казалось недостижимым. Цифровая стоматология — это совокупность методов, основанных на применении информационных технологий, трёхмерной визуализации, автоматизированного проектирования и анализа данных с использованием искусственного интеллекта.

Основная цель цифровой стоматологии — повышение точности и предсказуемости клинических процедур, а также создание комфортных условий для пациента. Использование цифровых технологий позволяет врачу получать детальные модели анатомии полости рта, анализировать динамику заболеваний, моделировать результаты лечения и создавать индивидуализированные конструкции с высокой степенью точности.

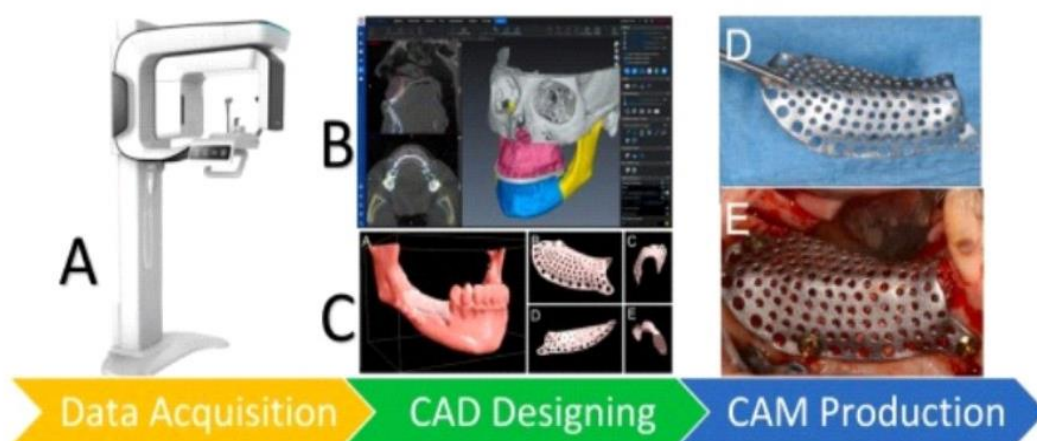


Рис. 1. Процедура CAD-CAM для изготовления титановой хирургической сетки, А. Получение данных с помощью КЛКТ, В. Виртуальные данные пациента в

программном обеспечении для проектирования CAD С. Проектирование CAD шаблона на виртуальной нижней челюсти, D:

Изготовленная титановая сетка, Е. Хирургическая установка и фиксация титановой сетки

Обсуждение. Искусственный интеллект (ИИ) стал ключевым элементом цифровой стоматологии. Он используется для автоматического анализа диагностических изображений — от рентгенограмм и ортопантограмм до данных конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ). Современные нейросетевые алгоритмы, в частности сверточные нейронные сети (CNN), способны распознавать мельчайшие патологические изменения: кариозные поражения, кистозные образования, воспалительные процессы, а также начальные признаки опухолевого роста.

ИИ не только выявляет патологию, но и проводит количественную оценку состояния тканей, анализируя плотность костной структуры и динамику изменений во времени. Эти технологии снижают вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором, и обеспечивают стандартизированную, объективную диагностику.

Кроме того, ИИ активно применяется в области профилактики и планирования лечения. На основании совокупности данных — анамнеза, генетических факторов, особенностей питания и поведения — алгоритмы могут прогнозировать риск возникновения заболеваний полости рта, определяя персонализированные профилактические стратегии. Подобный подход открывает путь к внедрению принципов прецизионной медицины в стоматологию.

Одним из важнейших направлений цифровой стоматологии является 3D-сканирование, позволяющее создавать точные цифровые копии зубных рядов и мягких тканей.

Лабораторные сканеры оцифровывают гипсовые модели, полученные из традиционных оттисков. Они используют технологии структурированного света, лазерного или контактного сканирования. Особое место занимают сканеры синего света (с длиной волны около 450 нм), обеспечи-

вающие высокое разрешение и устойчивость к внешнему освещению. Благодаря им создаются модели с высокой детализацией, что критически важно при изготовлении сложных ортопедических конструкций.

Внутриротовые сканеры (Intraoral Scanner, IOS) позволяют отказаться от физического оттиска и получать цифровые модели непосредственно из полости рта. Они применяют методы конфокальной микроскопии и структурированного света для создания трёхмерного изображения. Современные модели IOS обеспечивают высокую точность (20–50 микрон), при этом весь процесс занимает менее минуты.

Интеграция ИИ в системы внутриротового сканирования позволяет автоматически устранять дефекты изображения, распознавать блестящие поверхности реставраций, удалять артефакты и продолжать сканирование с места прерывания. Это существенно повышает качество получаемых данных и удобство работы врача.

Несмотря на достижения, внутриротовые сканеры имеют ряд ограничений. На точность влияют влажность, движение пациента, глубина имплантатов и доступность дистальных участков. Кроме того, высокая стоимость оборудования и необходимость обучения персонала остаются факторами, сдерживающими их широкое внедрение.

Системы CAD/CAM (Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing) представляют собой основу цифрового производства в стоматологии. CAD обеспечивает проектирование виртуальной модели реставрации, а CAM — её изготовление с помощью фрезерных станков или 3D-принтеров.

Процесс включает три этапа: Сканирование полости рта — с использованием внутриротового или лабораторного сканера. Создание виртуальной модели — программное обеспечение CAD позволяет точно моделировать форму и размеры будущей реставрации, учитывая анатомию и окклюзию пациента. Изготовление изделия —



фрезеровка или 3D-печать из керамики, циркония или композита с высокой точностью прилегания.

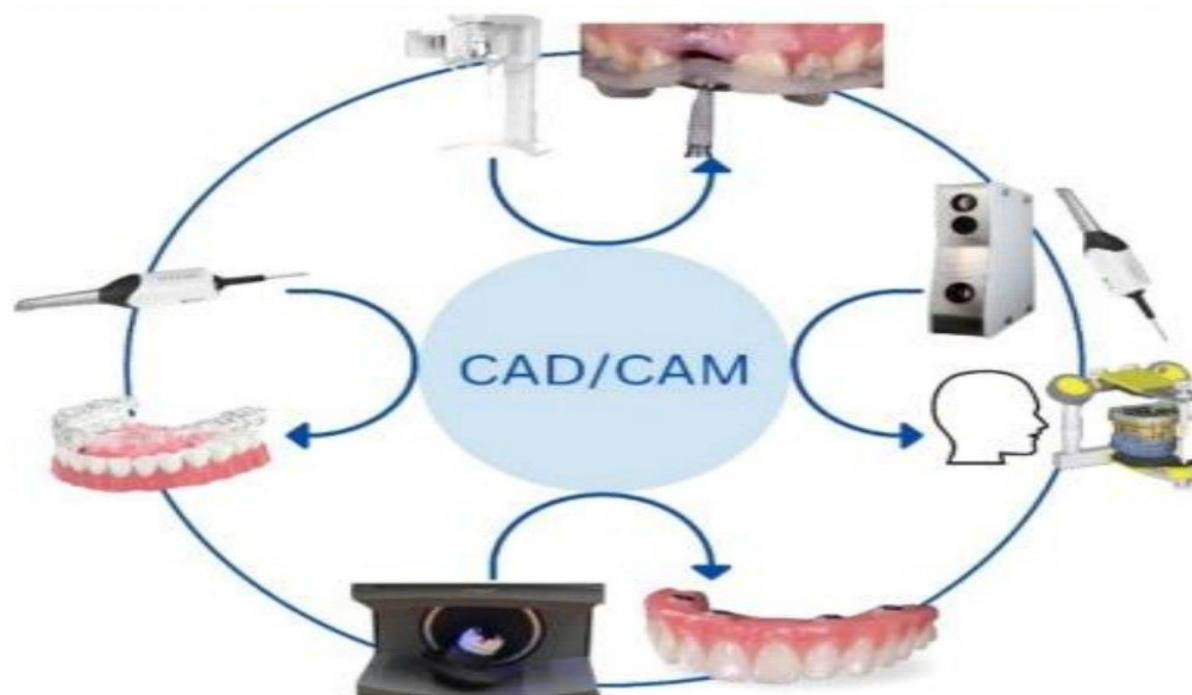


Рис. 2. Различные технологии сбора данных и их известные применения. CAD/CAM-системы делятся на три формата организации производства: «На кресле стоматолога» — все этапы выполняются в клинике, и пациент получает готовое изделие за одно посещение.

Лабораторный формат — клиника передаёт цифровые данные в лабораторию. Централизованный — обработка и изготовление выполняются на разных площадках, обеспечивая высокую стандартизацию.

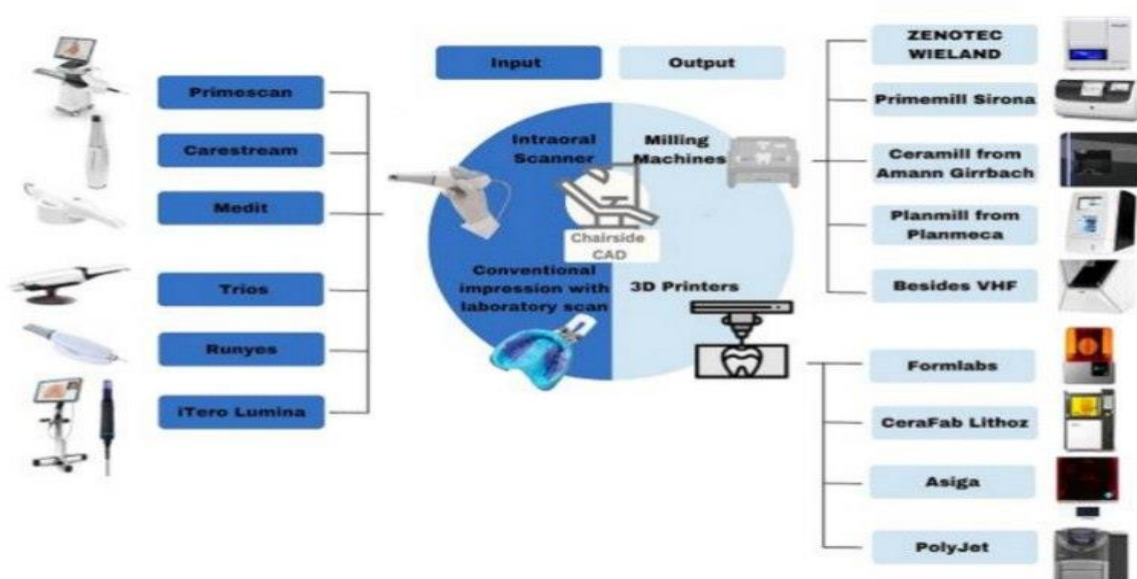


Рис. 3. Иллюстрация компонентов автоматизированного проектирования и автоматизированного производства (CAD-CAM).

Преимущества технологии включают сокращение времени лечения, улучшение точности и эстетики, а также возможность индивидуального подхода. К недостаткам относятся высокая стоимость оборудования и необходимость специальной подготовки специалистов.

Технологии AR и VR в стоматологической хирургии - Дополненная (AR) и виртуальная (VR) реальность открывают новые возможности для хирургической стоматологии. AR-системы накладывают виртуальные данные на реальное изображение операционного поля, что позволяет врачу видеть анатомические структуры и ориентиры в режиме реального времени. Такие системы особенно полезны при имплантации, обеспечивая точное позиционирование имплантов и снижение риска осложнений. VR активно используется в образовательных целях. Студенты и врачи могут отрабатывать мануальные навыки в безопасной виртуальной среде, получая реалистичный тактильный отклик. Кроме того, VR помогает пациентам лучше понимать предстоящее лечение и снижает уровень тревожности.

Проблемы и перспективы цифровой стоматологии

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение цифровых технологий сталкивается с рядом проблем: высокая стоимость оборудования и обслуживания;

несовместимость программных продуктов разных производителей;  
необходимость постоянного обучения персонала;

сложность работы в условиях высокой влажности и ограниченного пространства рта.

Перспективы развития связаны с дальнейшим удешевлением технологий, развитием облачных платформ, совершенствованием алгоритмов ИИ и расширением телестоматологии. В будущем ожидается интеграция цифровой стоматологии с биопечатью и регенеративной медициной, что откроет путь к созданию биосовместимых индивидуальных имплантатов и тканевых конструкций.

**Заключение.** Цифровые технологии полностью изменили представление о стоматологической практике. Интеграция искусственного интеллекта, 3D-сканирования, CAD/CAM-систем и технологий AR/VR обеспечивает высокую точность диагностики, прогнозируемость и комфорт лечения. Однако для полного раскрытия потенциала цифровой стоматологии необходимо преодолеть барьеры — экономические, технические и образовательные.

Будущее стоматологии — это комплексная цифровая экосистема, где каждая стадия лечения будет объединена в единую систему данных, а лечение станет персонализированным, эффективным и предсказуемым.

#### Источники:

12. Spagnuolo G, Sorrentino R. The Role of Digital Devices in Dentistry: Clinical Trends and Scientific Evidences. J Clin Med. 2020 Jun 2;9(6):1692.
13. Schwendicke F. Digital Dentistry: Advances and Challenges. J Clin Med. 2020 Dec 11;9(12):4005.
14. Alauddin MS, Baharuddin AS, Mohd Ghazali MI. The Modern and Digital Transformation of Oral Health Care: A Mini Review. Healthcare (Basel). 2021 Jan 25;9(2):118.
15. Jahangiri L, Akiva G, Lakhia S, Turkyilmaz I. Understanding the complexities of digital dentistry integration in high-volume dental institutions. Br Dent J. 2020 Aug;229(3):166-168.

16. Huang TK, Yang CH, Hsieh YH, Wang JC, Hung CC. Augmented reality (AR) and virtual reality (VR) applied in dentistry..
17. Emery RW, Merritt SA, Lank K, Gibbs JD. Accuracy of Dynamic Navigation for Dental Implant Placement-Model-Based Evaluation. J Oral Implantol. 2016 Oct;42(5):399-405.
18. Sušić, I., Travar, M.Ž., & Šušić, M.V. (2017). The application of CAD / CAM technology in Dentistry. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 200. URL: <https://iop-science.iop.org/article/10.1088/1757-899X/200/1/012020/pdf>.
19. Что такое стоматология CAD/CAM [Электронный ресурс]: Colgate. URL: (дата обращения: 20.11.2022).
20. Irfan U.B., Aslam K., Nadim R. A review on cad cam in dentistry. J. Pak. Dent. Assoc. 2015;24:112–117. URL: <http://archive.jpda.com.pk/wp-content/uploads/2016/05/article2-15-3.pdf>
21. Samra, Adriana & Morais, Eduardo & Mazur, Rui & Vieira, Sergio & Rached, Rodrigo. (2016). CAD/CAM in dentistry – a critical review. Revista Odonto Ciência. 31. 140. 10.15448/1980-6523.2016.3.21002. URL: [https://www.researchgate.net/publication/316818725\\_CAD-CAM\\_in\\_dentistry\\_-\\_a\\_critical\\_review](https://www.researchgate.net/publication/316818725_CAD-CAM_in_dentistry_-_a_critical_review).
22. Nassani MZ, Ibraheem S, Shamsy E, Darwish M, Faden A, Kujan O. A Survey of Dentists' Perception of Chair-Side CAD/CAM Technology. Healthcare (Basel). 2021 Jan 13;9(1):68.
23. Srinivasan M, Kamnoedboon P, McKenna G, Angst L, Schimmel M, Özcan M, Müller F. CAD-CAM removable complete dentures: A systematic review and meta-analysis of trueness of fit, biocompatibility, mechanical properties, surface characteristics, color stability, time-cost analysis, clinical and patient-reported outcomes. J Dent. 2021 Oct;113:103777.
24. Otto T, De Nisco S. Computer-aided direct ceramic restorations: a 10-year prospective clinical study of Cerec CAD/CAM inlays and onlays. Int J Prosthodont. 2002 Mar-Apr;15(2):122-8. PMID: 11951800.
25. Jampani ND, Nutalapati R, Dontula BS, Boyapati R. Applications of teledentistry: A literature review and update. J Int Soc Prev Community Dent. 2011 Jul;1(2):37-44.
26. Estai M, Kruger E, Tennant M, Bunt S, Kanagasingam Y. Challenges in the uptake of telemedicine in dentistry. Rural Remote Health. 2016 Oct-Dec;16(4):3915. Epub 2016 Nov 28. PMID: 27893947.
27. A.Y. Alqutaibi, M.A. Alghauli, A.N. Aboalrejal
28. DIGITAL SCANS, COMPARED TO CONVENTIONAL IMPRESSIONS, MAY EXPEDITE FABRICATION TIME FOR FULL-ARCH IMPLANT-SUPPORTED PROSTHESES WHILE MAINTAINING A COMPARABLE LEVEL OF MARGINAL BONE LOSS