

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТОМАТОЛОГИИ: АДДИТИВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗУБОВ НА ОСНОВЕ 3D-ПЕЧАТИ С ИНТЕГРАЦИЕЙ ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ И БИОСОВМЕСТИМЫХ РЕШЕНИЙ

З. М. А. А. Алшауки¹, М. Ф. С. Х. Аль-Камали²

¹Новосибирский государственный медицинский университет,
Российская Федерация

²Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Цифровая трансформация стоматологии базируется на аддитивном производстве (3D-печати), которое формирует новую парадигму восстановления зубов. В ее основе лежит синергия трех компонентов: технологий печати (SLA, DLP, DMLS), инновационных материалов (цифровые композиты, биосовместимые сплавы) и цифровых рабочих потоков (сканирование, CAD/CAM). Анализ показывает, что данная интеграция создает стандарт персонализированной, прогнозируемой и малоинвазивной стоматологии, а разработки в области биопечати задают вектор перехода от протезирования к регенерации тканей.

Ключевые слова: аддитивные технологии, цифровая стоматология, 3D-печать зубов, биосовместимые материалы, CAD/CAM, хирургические шаблоны.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN DENTISTRY: ADDITIVE DENTAL RESTORATION BASED ON 3D PRINTING WITH THE INTEGRATION OF ADVANCED MATERIALS, DIGITAL SYSTEMS, AND BIOCOMPATIBLE SOLUTIONS

Z. M. A. A. Alshauki¹, M.F.S.H. Al-Kamali²

¹Novosibirsk State Medical University, Russian Federation

²Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

The digital transformation of dentistry is based on additive manufacturing (3D printing), which is creating a new paradigm for dental restoration. It is based on the synergy of three components: printing technologies (SLA, DLP, DMLS), innovative materials (digital composites, biocompatible alloys), and digital workflows (scanning, CAD/CAM). Analysis shows that this integration is creating a standard for personalized, predictable, and minimally invasive dentistry, while developments in bioprinting are setting the stage for the transition from prosthetics to tissue regeneration.

Keywords: additive technologies, digital dentistry, 3D dental printing, biocompatible materials, CAD/CAM, surgical templates.

Традиционные подходы к зубному протезированию, несмотря на свою отработанность, зачастую сталкиваются с ограничениями, связанными с субъективностью этапов, трудоемкостью лабораторных процессов и стандартизацией изделий. Аддитивное производство (Additive Manufacturing, AM), более известное как 3D-печать, совершает революционный переворот, предлагая переход к полностью цифровому, контролируемому и персонализированному рабочему потоку. Инновационный потенциал заключается не в самой технологии печати, а в ее глубокой интеграции в единую цифровую цепочку: диагностика → цифровой дизайн (CAD) → аддитивное производство (AM) → клиническая интеграция. Эта работа призвана систематизировать знания о триаде «технологии–материалы–цифровые системы», лежащей в основе современной концепции аддитивного восстановления зубов [1, 2]. Анализ совре-

менной практики и научных данных позволяет систематизировать ключевые компоненты цифрового аддитивного workflow в виде сравнительной таблицы (см. таблицу), которая наглядно демонстрирует синергию технологий, материалов и клинических применений.

Сравнительный анализ технологий 3D-печати в стоматологии

Критерий	SLA/DLP	DMLS	FDM/MJP
Точность	Очень высокая (25–100 мкм)	Высокая (20–50 мкм)	Средняя (100–200 мкм)
Основные материалы	Фотополимерные смолы («цифровые композиты»)	Титановые и кобальт-хромовые сплавы	Стандартные и биосовместимые полимеры
Ключевые применения	Хирургические шаблоны, временные и постоянные реставрации, модели, каппы	Индивидуальные аббатменты, каркасы протезов, имплантаты с пористой поверхностью	Диагностические и рабочие модели, временные конструкции, прототипы
Интеграция в workflow	Полная цифровая цепочка (IOS → CAD → Печать). Основа для Digital Surgery	Критична для виртуального планирования и печати сложных металлоконструкций	Используется преимущественно для этапа моделирования и прототипирования
Статус клинической валидации	Утвержден, «золотой стандарт» для полимеров	Утвержден для постоянных металлических конструкций	Утвержден для моделей и временных изделий
Преимущества	Гладкость поверхности, высокая детализация, скорость	Прочность, биосовместимость, создание сложных структур	Экономичность, скорость для серийного производства моделей
Ограничения	Ограниченная прочность некоторых смол, необходимость постобработки	Высокая стоимость оборудования и материалов, требования к постобработке	Ограниченная точность и прочность для финальных изделий

Проведенный анализ позволил интегрировать ключевые аспекты в единую систему и сформулировать следующие выводы. Максимальный клинический результат достигается не выбором отдельной технологии, а оптимизацией всей цифровой цепочки: от точного внутриротового сканирования (IOS) через грамотный CAD-дизайн до адекватного выбора метода печати и материала. Данные подтверждают четкое разделение технологических ниш: SLA/DLP для высокоточных полимеров, DMLS для металлических конструкций и FDM/MJP для прототипирования.

Эволюция отрасли связана не только с аппаратными решениями. Развитие материалов, таких как «цифровые композиты» и керамические суспензии, расширяет области применения и перераспределяет рынок, а биопечать задает вектор будущего переход от протезирования к регенерации тканей. Несмотря на высокие стартовые инвестиции, технологии демонстрируют экономическую эффективность за счет сокращения сроков лечения, минимизации ручного труда, снижения брака и возможности оказания персонализированных услуг для того аддитивное производство формирует новую инженерно-цифровую парадигму в стоматологии.

Таким образом, аддитивные технологии, основанные на синергии 3D-печати, цифрового дизайна и новых материалов, стали новым клиническим стандартом, оз-

наменовав переход от ремесленного подхода к инженерно-цифровой парадигме. Будущее направления связано с автоматизацией, ИИ в проектировании, печатью керамики и развитием биопечати для регенерации тканей. Массовому внедрению, однако, способствуют вызовы: высокая стоимость, необходимость обучения специалистов и развитие нормативной базы для инновационных материалов.

Литература

1. AL-Aimiri, M. A. M. K. ERPNEXT: revolutionizing manufacturing management in factories / M. A. M. K. AL-Aimiri, M. F. S. H. AL-Kamali // Инновационное станкостроение, технологии и инструмент : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30 нояб. 2023 г. / М-во пром-сти Респ. Беларусь ; под общ. ред. М. И. Михайлова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 102–104.
2. AL-Aimiri, M. A. M. K. Streamlining factory operations: designing an effective manufacturing management program / M. A. M. K. AL-Aimiri, M. F. S. H. AL-Kamali // Инновационное станкостроение, технологии и инструмент : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 30 нояб. 2023 г. / М-во пром-сти Респ. Беларусь ; под общ. ред. М. И. Михайлова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 105–106.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДАННЫХ В ПРИКЛАДНОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ: ТЕХНОЛОГИИ ШИФРОВАНИЯ, ЗАЩИТЫ ОТ УТЕЧЕК И СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТАМ (GDPR, HIPAA) В РАЗРАБОТКЕ ПРИЛОЖЕНИЙ

Ш. Аллакулыев, А. Суннатов

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

Рассмотрены ключевые технологии шифрования, такие как симметричное и асимметричное шифрование, методы предотвращения утечек данных (DLP-системы) и требования стандартов GDPR и HIPAA. Цель исследования – анализ подходов к интеграции этих мер в процесс разработки, включая оценку рисков, выбор инструментов и тестирование. Методика основана на обзоре специализированной литературы и практических рекомендаций. Результаты показывают, что комбинированное использование шифрования данных в покое и в транзите, мониторинга доступа и аудита логов позволяет минимизировать риски утечек, обеспечивая соответствие регуляциям. В итоге подчеркивается необходимость комплексного подхода для повышения надежности ПО.

Ключевые слова: безопасность данных, шифрование, защита от утечек, GDPR, HIPAA, разработка приложений.

DATA SECURITY IN APPLICATION SOFTWARE: ENCRYPTION TECHNOLOGIES, LEAK PREVENTION, AND COMPLIANCE WITH STANDARDS (GDPR, HIPAA) IN APPLICATION DEVELOPMENT

S. Allakulyyev, A. Sunnatov

The State Energy Institute of Turkmenistan, Mary

The article examines key encryption technologies, such as symmetric and asymmetric encryption, data leak prevention methods (DLP systems), and GDPR and HIPAA standards requirements. The research aim is to analyze approaches to integrating these measures into the development process, including risk assessment, tool selection, and testing. The methodology is based on a review of specialized literature and practical recommendations. The results demonstrate that combining data encryption at rest and in transit, access monitoring, and log auditing minimizes leak risks, ensuring regulatory compliance. Ultimately, the need for a comprehensive approach to enhance software reliability is emphasized.