



ПРИМЕНЕНИЕ 3D - ПЕЧАТИ В СТОМАТОЛОГИИ (краткий обзор литературы)

М.Р. САГИРОВ, А.М. НЕСТЕРОВ, Н.В. ПОПОВ, М.И. САДЫКОВ

*ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России,
ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Россия*

Аннотация. Современная стоматология – это область медицины, которая характеризуется интенсивным темпом развития. В условиях усиливающейся конкуренции применение передовых методик является ключевым фактором для укрепления позиций стоматологических учреждений на рынке. На сегодняшний день технологию трехмерной (3D) печати можно смело отнести к категории передовых технологических достижений, которые способны полностью трансформировать процессы производства и изготовления стоматологических конструкций. В стоматологии технология 3D-печати также нашла широкое применение. Суть процесса 3D-печати заключается в последовательном наплавлении слоев материала для формообразования трехмерной структуры, где слои размещаются друг на друга в соответствии с алгоритмами, управляемыми компьютером. Стандартизированный процесс изготовления посредством 3D-печати включает несколько рабочих стадий, таких как построение трехмерной модели и её верификация, сегментация модели по слоям, этап печати изделия. В современной индустриальной практике известно около девяти основных модификаций 3D-печати, различающихся по таким параметрам, как производительность, точность позиционирования, применяемые материалы и дополнительным технологическим характеристикам. Наиболее популярными и распространенными в клинической практике являются: лазерная стереолитография, метод наплавления расплава, селективное лазерное спекание, струйное напыление фотополимеров, технология многоструйного моделирования, цветная струйная печать. Следует отметить, что сфера ортопедической стоматологии демонстрирует устойчивую тенденцию к интеграции 3D-печати вследствие широкого использования систем интраорального сканирования, что способствует дальнейшему развитию данной области.

Ключевые слова: стоматология, 3D-печать, прототипирование в стоматологии.

APPLICATION OF 3D PRINTING IN DENTISTRY (a brief literature review)

M.R. SAGIROV, A.M. NESTEROV, N.V. POPOV, M.I. SADYKOV

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Samara State Medical University” of the
Ministry of Health of Russia, 89 Chapayevskaya Street, Samara, 443099, Russia*

Abstract. Modern dentistry is a field of medicine characterized by a rapid pace of development. In the context of increasing competition, the use of advanced technologies is a key factor in strengthening the market position of dental institutions. Today, three-dimensional (3D) printing technology can be confidently classified as an advanced technological achievement capable of fully transforming the processes of manufacturing dental constructions. In dentistry, 3D printing technology has also found wide application. The essence of the 3D-printing process lies in the sequential deposition of layers of material to form a three-dimensional structure, where layers are placed on top of each other according to computer-controlled algorithms. The standardized workflow of 3D-printed fabrication includes several stages, such as constructing and verifying a three-dimensional model, segmenting the model into layers, and the printing stage itself. In modern industrial practice, approximately nine major modifications of 3D printing are known, differing in parameters such as productivity, positioning accuracy, materials used, and additional technological characteristics. The most common and widely used in clinical practice are laser stereolithography, fused deposition modeling, selective laser sintering, photopolymer jetting, multi-jet modeling, and color jet printing. It should be noted that the field of prosthetic dentistry demonstrates a stable trend toward integrating 3D printing due to the widespread use of intraoral scanning systems, which facilitates further development of this area.

Keywords: dentistry, 3D printing, dental prototyping.

Введение. Современная стоматология – это область медицины, которая характеризуется интенсивным темпом развития [2, 5]. Глобальная цифровизация, охватывающая различные отрасли жизни, затронула и стоматологическую практику [13]. В условиях усиливающейся конкуренции применение

передовых методик является ключевым фактором для укрепления позиций стоматологических учреждений на рынке.

В ближайшей перспективе функционирование клиник и специализированных зуботехнических лабораторий без использования цифрового оборудования, включая системы автоматизированного подбора цвета реставрационного материала, фотодокументирования и инструментов для осуществления полного производственного цикла ортопедических конструкций – станет практически невозможным [12].

В настоящее время использование цифровых технологий врачом-стоматологом дает возможность выполнять лечение и протезирование пациентов с погрешностями, не превышающими микроны, что позволяет достигать максимальных эстетических и функциональных показателей.

Производственные процессы создания ортопедических конструкций, а также установка дентальных имплантатов, ортодонтических аппаратов и проведение реставраций с применением традиционных методов постепенно утрачивают актуальность, из-за возникновения значительных погрешностей на этапах изготовления, которые ведут к росту количества осложнений, снижению эстетических свойств и нерациональному распределению жевательной нагрузки [1, 3].

На сегодняшний день технологию *трехмерной (3D)* печати можно смело отнести к категории передовых технологических достижений, которые способны полностью трансформировать процессы производства и изготовления стоматологических конструкций. Применение этой технологии наблюдается во множестве отраслей: промышленности, аэрокосмическом производстве, оборонном секторе, в сфере искусств, медицине и множестве других [7, 11, 17]. В стоматологии технология *3D*-печати также нашла широкое применение [9, 15].

Материалы и методы исследования.

Обзор литературы был проведен с использованием поисковой системы *PubMed* в электронных базах данных *Scopus* и *Medline* с 2021 по 2023 г, а также с использованием поисковой системы Google Академия в электронных базах *e-Library* и *Cyberleninka* с 2019 по 2024 г.

В научной литературе для обозначения *3D*-печати используются различные термины: аддитивное производство, быстрая прототипизация, многоуровневое производство, изготовление объектов по твердотельной технологии.

Суть процесса заключается в последовательном наплавлении слоев материала для формообразования трехмерной структуры, где слои размещаются друг на друга в соответствии с алгоритмами, управляемыми компьютером. Ключевая концепция данного метода заключается в том, что трехмерная цифровая модель объекта предварительно дискретизируется – рассекается на множество тонких слоев, на основании которых производственное оборудование осуществляет послойную надстройку [4].

Данный процесс продолжается до полного формирования изделия, геометрические характеристики которого заимствуются из исходной модели.

Стандартизированный процесс изготовления посредством *3D*-печати включает несколько рабочих стадий, которые условно могут быть разделены на следующие [10]:

Построение трехмерной модели и её верификация. Формирование цифровой модели изделия осуществляется либо путём ручного моделирования с использованием специальных программных средств *CAD (Computer-Aided Design)*, либо посредством автоматического сканирования объекта с использованием разнообразных технологий трехмерного сканирования, например, сканирования структурированным светом, лазерного сканирования или с применением координатно-измерительных машин.

Сегментация модели по слоям. На данном этапе осуществляется преобразование цифровой модели в серию слоев, толщина которых оптимизирована (обычно менее 100 микрометров), что способствует формированию гладких поверхностей на изделии и содействует технологической эффективности самого процесса *3D*-печати.

Этап печати изделия. Сформированный набор данных, соответствующих слоям, загружается непосредственно в программное обеспечение *3D*-принтера, который реализует поэтапное построение изделия слой за слоем.

Представленные на рынке технологии *3D*-печати используют различные типы материалов (металлические полосы, порошкообразные композиции, спекаемые сплавы, фотополимерные смолы, полимерные пленки и прочее), что обуславливает вариативность физических свойств конечных изделий, таких как механическая прочность, плотность и прочие показатели [6].

В современной индустриальной практике известно около девяти основных модификаций *3D*-печати, различающихся по таким параметрам, как производительность, точность позиционирования, применяемые материалы и дополнительным технологическим характеристикам.

Оптимальный выбор определяется целями изготовления, спецификой требований к результату и ограничениями, связанными с технологическим оборудованием.

Лазерная стереолитография (Stereolithography – SLA). Принцип процесса состоит в поэтапном отверждении фотополимерной смолы с помощью *ультрафиолетового (УФ)* излучения по слоям для формирования твердого объекта [8].

Длительность полимеризации и параметр толщины одного слоя зависят от динамических характеристик процесса, что регулируется мощностью УФ-источника излучения, скоростью движения сканирующей системы и физико-химическим составом полимерной смеси (концентрацией мономеров и фотоинициаторов). Для дополнительного контроля глубины полимеризации возможно введение светопоглощающих компонентов в смолу [16].

Список достоинств *SLA*-технологии включает повышенную детализацию, точность геометрии, а также расширенные габариты рабочих камер по сравнению с альтернативными технологиями, минимальный расход материала на построение поддерживающих структур и низкий уровень акустических излучений в ходе процесса.

В стоматологии эта технология широко применяется для изготовления хирургических шаблонов, дентальных имплантатов, индивидуальных ложек, протезов, элайнеров и других изделий, требующих высокой механической прочности.

Метод наплавления расплава (Fused Deposition Modeling – FDM). В основе технологии *FDM* лежит экструзия нитевидного термопластичного материала, который подаётся через сопло, находящееся под контролем температурного режима, с мгновенным затвердеванием материала (0,1 секунда) после выхода из экструдера [7, 14].

Перемещением печатающей головки управляет электронный блок, обеспечивающий послойное нанесение материала минимальной толщины на рабочую платформу. В технологическом цикле применяются материалы, такие как *акрилонитрилбутадиенстирол* (АБС), поликарбонаты, полисульфоны.

При необходимости реализации изделий со сложной геометрией задействуется второй экструдер, который позволяет использовать для поддерживающих структур водорастворимые материалы [11]. Точные характеристики конечных изделий зависят от скорости движения экструдера, интенсивности подачи материала и параметров размерности слоёв.

К числу преимуществ относят: производство изделий с выраженными механическими свойствами (прочность, износостойкость), экономическую эффективность материалов и обширный спектр вариантов постобработки.

На данный момент технология *FDM* используется в большинстве бюджетных *3D*-принтеров. На сегодняшний день с учетом появления более точных технологий производства технология *FDM* используется в стоматологии для немедленной печати диагностических моделей и анатомических [17].

Селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering – SLS). Конструктивной особенностью технологии является формирование изделий посредством поэтапного сплавления тонких слоев порошкообразного материала лазерным сканирующим лучом [16].

После нанесения одного слоя порошка и его локального спекания осуществляется равномерное распределение следующего слоя материала. Достигается высокая пространственная разрешающая способность до 60 микрон.

Главными преимуществами считаются возможность автоклавирования материалов, поддержка полной механической функциональности изделий, относительная дешевизна используемых материалов при масштабном производстве, высокая механическая прочность, точность и качество поверхностей.

Дополнительным преимуществом данной технологии является то, что вспомогательные материалы не требуются, так как модели поддерживаются неиспользованным порошком, его окружающим.

В стоматологии технология селективного лазерного спекания применяется при изготовлении каркасов искусственных коронок и мостовидных протезов из кобальтохромового сплава [8]. На сегодняшний день эта технология практически полностью вытеснила технологию литья ортопедических конструкций в силу высокой точности изготавливаемых конструкций. Помимо этого, она применяется для изготовления лицевых протезов на основе полимерных каркасов из полиамида, а также с целью производства анатомических моделей, режущих и сверлильных шаблонов, дентальных макетов и прототипов.

К ограничениям технологии относятся высокая стоимость оборудования и жесткие требования к окружающим условиям (наличие источников сжатого воздуха и поддержка климатического режима).

Струйное напыление фотополимеров (PolyJet). Технология реализуется за счет последовательного напыления фоточувствительных жидких полимеров на рабочую платформу с помощью специальных струйных печатающих головок; последующее экспонирование ультрафиолетом инициирует быструю полимеризацию и отверждение каждого слоя [16].

В зависимости от конфигурации оборудования технология может использовать как неподвижную платформу с перемещающейся головкой, так и обратную конструкцию.

Для напыления применяется широкий ассортимент фотополимеров, используемых как для литья, так и при создании силиконоподобных эластомерных материалов.

Технология обеспечивает разрешение до 16 микрон, улучшая возможность создания изделий со сложной и мелкоразмерной геометрией.

Технология многоструйного моделирования (Multi Jet Modeling – MJM). Данная технология предполагает нанесение моделирующих агентов (фотополимерных или восковых материалов) посредством

большого числа печатающих головок. *MJM* характеризуется высокой точностью слоя и широкой номенклатурой материалов, в том числе восковых композиций.

В стоматологии основной областью применения как технологии *PolyJet*, так и *Multijet* являются изготовление мастер-моделей для последующего литья в силикон, создание прототипов с тонкими деталями, восковых моделей и выжигаемых прототипов [8,16].

Цветная струйная печать (Color Jet Printing – CJP). *CJP*-технология предполагает поэтапное соединение и окрашивание слоёв порошкообразного композитного материала (на основе гипса или пластика).

Технология эффективна при изготовлении демонстрационных образцов и прототипов для визуального анализа.

Среди конкурентных преимуществ *CJP*: полноцветная печать, низкая себестоимость, пространственная точность до 0,1 миллиметра [2, 13].

Заключение. В заключение следует отметить значительный вклад трёхмерной визуализации, параметрического моделирования и автоматизированных систем проектирования (*CAD*) в развитие современной стоматологии.

Обработка цифровых данных и их последующая реализация с помощью *3D*-печати позволяют создавать изделия со сложной геометрией из разнородных материалов, как непосредственно в медицинских учреждениях, так и с применением промышленного производства.

При этом даже несмотря на то, что современные *3D*-принтеры способны воспроизводить широкий спектр стоматологических изделий, представляется невозможным удовлетворить все потребности клиницистов с помощью одной единственной технологии.

За последние годы были реализованы существенные улучшения в производстве каркасов с пониженными жесткостными характеристиками и интеграцией свойств высокого разрешения, что открывает новые возможности для инжиниринга мягких тканей.

Сфера ортопедической стоматологии демонстрирует устойчивую тенденцию к интеграции *3D*-печати вследствие широкого использования систем интраорального сканирования, что способствует дальнейшему развитию данной области.

Литература

1. Айвазов Г.Т., Фомина А.В. Организация стоматологической помощи при внедрении цифровых технологий, оценка их медицинской и экономической эффективности (краткий обзор литературы) // *International Journal of Advanced Studies in Medicine and Biomedical Sciences*. 2021. № 1. С. 4-22.
2. Афанасьева Ю.Д., Пивоварова Л.Н. Теоретические аспекты развития стоматологии // *Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования*. 2021. № 1. С. 29-34.
3. Возможности диагностики и комплексного лечения пациентов с дисфункциями височно-нижнечелюстного сустава / М. А. Постников, А. М. Нестеров, Д. А. Трунин [и др.] // *Клиническая стоматология*. 2020. № 1(93). С. 60-63. DOI 10.37988/1811-153X_2020_1_60. EDN JNDLGX.
4. Егоров И. А., Семенчук О. В. Применение технологии 3D-печати в медицине // *Кронос*. 2022. Т. 7. № 4 (66). С. 29-32.
5. Леванов В.М. Состояние и перспективы применения информационных и телекоммуникационных технологий в стоматологии (обзор) / В.М. Леванов, Е.А. Голуб, А.И. Агашина [и др.] // *Журнал телемедицины и электронного здравоохранения*. 2021. Т. 7. № 1. С. 39-48.
6. Фришлер К.Б., Принц В.Я. Методы трёхмерной печати микро- и наноструктур // *Успехи физических наук*. 2019. Т. 189. № 1. С. 55-71.
7. Черемисин Д. Г., Мкртчян В. Р., Музлова А. Д. Применение 3d-печати в инженерии // *Символ науки*. 2024. № 1-2. С. 54-55.
8. Чиркин С. О., Абалуев Р. Н. Анализ и оценка материалов для 3d-печати с использованием технологии лазерной стереолитографии // *Наука и Образование*. 2019. Т. 2. № 4.
9. Шустов М., Шустова В. Применение 3D-технологий в ортопедической стоматологии. Litres, 2022.
10. Эртесян А.Р., Садыков М.И., Нестеров А. М. Обзор технологий 3D-печати в стоматологии // *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*. 2020. Т. 22. № 10. – С. 15-18.
11. Brachet A., Belżek A., Furtak D., Geworgjan Z., Tulej D., Kulczycka K., Karpiński R., Maciejewski M., Baj J. Application of 3D Printing in Bone Grafts. // *Cells*. 2023. №12(6). P. 859. doi: 10.3390/cells12060859.
12. Di Fiore A. Think Digital-The New Era in the Dentistry Field. // *J Clin Med*. 2022. №11(14). P. 4073. doi: 10.3390/jcm11144073.
13. Eaton K.A. The development of digital dentistry in the UK: An overview. // *Prim Dent J*. 2022. №11(4). P. 94-98. doi: 10.1177/20501684221134198.
14. Kafle A, Luis E, Silwal R, Pan H.M., Shrestha P.L., Bastola A.K. 3D/4D Printing of Polymers: Fused Deposition Modelling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS), and Stereolithography (SLA). // *Polymers (Basel)*. 2021. №13(18). P. 3101. doi: 10.3390/polym13183101.
15. Kihara H, Sugawara S, Yokota J, Takafuji K., Fukazawa S., Tamada A., Hatakeyama W., Kondo H. Applications of three-dimensional printers in prosthetic dentistry. // *J Oral Sci*. 2021. №63(3). P. 212-216. doi: 10.2334/josnusd.21-0072.
16. Schneider K.H., Oberoi G., Unger E., Janjic K, Rohringer S, Heber S, Agis H, Schedle A, Kiss H, Podesser B.K., Windhager R, Toegel S, Moscato F. Medical 3D printing with polyjet technology: effect of mate-

rial type and printing orientation on printability, surface structure and cytotoxicity. // 3D Print Med. 2023. №9(1). P. 27. doi: 10.1186/s41205-023-00190-y.

17. Tracy T., Wu L., Liu X, Cheng S, Li X. 3D printing: Innovative solutions for patients and pharmaceutical industry. // Int J Pharm. 2023. №631. P. 122480. doi: 10.1016/j.ijpharm.2022.122480.

References

1. Ajvazov GT, Fomina AV. Organizatsiya stomatologicheskoy pomoshchi pri vnedrenii cifrovyyh tekhnologiy, ocenka ih medicinskoj i ekonomicheskoy effektivnosti (kratkij obzor literatury) [Organization of dental care with the introduction of digital technologies, assessment of their medical and economic effectiveness (a brief review of the literature)]. International Journal of Advanced Studies in Medicine and Biomedical Sciences. 2021;1:4-22. Russian.

2. Afanas'eva YuD, Pivovarova LN. Teoreticheskie aspekty razvitiya stomatologii [Theoretical aspects of the development of dentistry]. Medicina. Sociologiya. Filosofiya. Prikladnye issledovaniya. 2021;1:29-34. Russian.

3. Vozmozhnosti diagnostiki i kompleksnogo lecheniya pacientov s disfunktsiyami visochno-nizhnechelestnogo sustava [Possibilities of diagnosis and complex treatment of patients with temporomandibular joint dysfunctions] / MA. Postnikov, AM. Nesterov, DA. Trunin [i dr.]. Klinicheskaya stomatologiya. 2020;1(93):60-63. DOI 10.37988/1811-153X_2020_1_60. EDN JNDLGX. Russian.

4. Egorov I A, Semenchuk O V. Primenenie tekhnologii 3D-pechati v medicine [Application of 3D printing technology in medicine]. Kronos. 2022;7:9-32. Russian.

5. Levanov VM. Sostoyaniye i perspektivy primeneniya informatsionnyh i telekommunikatsionnyh tekhnologiy v stomatologii (obzor) [The state and prospects of using information and telecommunication technologies in dentistry (review)] / VM. Levanov, EA. Golub, AI. Agashina [i dr.]. Zhurnal telemeditsiny i elektronnoy zdravoohraneniya. 2021;7:39-48. Russian.

6. Fricler KB, Princ VYa. Metody trykhmernoy pechati mikro- i nanostruktur [Methods of three-dimensional printing of micro- and nanostructures]. Uspekhi fizicheskikh nauk. 2019;189:55-71. Russian.

7. Cheremisin D, Mkrtchyan V R, Muzlova A D. Primenenie 3d-pechati v inzhenerii [Application of 3d printing in engineering]. Simvol nauki. 2024; 1-2:54-55. Russian.

8. Chirkin S O, Abaluyev R N. Analiz i ocenka materialov dlya 3d-pechati s ispol'zovaniem tekhnologii lazernoy stereolitografii [Analysis and evaluation of materials for 3D printing using laser stereolithography technology]. Nauka i Obrazovanie. 2019;2:4. Russian.

9. Shustov M, Shustova V. Primenenie 3D-tekhnologiy v ortopedicheskoy stomatologii [Application of 3D technologies in orthopedic dentistry]. Litres. 2022. Russian.

10. Ertesyan AR, Sadykov MI, Nesterov A M. Obzor tekhnologiy 3D-pechati v stomatologii [Review of 3D printing technologies in dentistry]. Mediko-farmaceuticheskij zhurnal «Pul's». 2020;22:15-18. Russian.

11. Brachet A, Belžek A, Furtak D, Geworgian Z, Tulej D, Kulczycka K, Karpiński R, Maciejewski M, Baj J. Application of 3D Printing in Bone Grafts. Cells. 2023;12(6):859. doi: 10.3390/cells12060859.

12. Di Fiore A. Think Digital-The New Era in the Dentistry Field. J Clin Med. 2022;11(14):4073. doi: 10.3390/jcm11144073.

13. Eaton KA. The development of digital dentistry in the UK: An overview. Prim Dent J. 2022;11(4):94-98. doi: 10.1177/20501684221134198.

14. Kafle A, Luis E, Silwal R, Pan HM, Shrestha PL, Bastola AK. 3D/4D Printing of Polymers: Fused Deposition Modelling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS), and Stereolithography (SLA). Polymers (Basel). 2021;13(18):3101. doi: 10.3390/polym13183101.

15. Kihara H, Sugawara S, Yokota J, Takafuji K, Fukazawa S, Tamada A, Hatakeyama W, Kondo H. Applications of three-dimensional printers in prosthetic dentistry. J Oral Sci. 2021;63(3):212-216. doi: 10.2334/josnusd.21-0072.

16. Schneider KH, Oberoi G, Unger E, Janjic K, Rohringer S, Heber S, Agis H, Schedle A, Kiss H, Podesser BK, Windhager R, Toegel S, Moscato F. Medical 3D printing with polyjet technology: effect of material type and printing orientation on printability, surface structure and cytotoxicity. 3D Print Med. 2023;9(1):27. doi: 10.1186/s41205-023-00190-y.

17. Tracy T, Wu L, Liu X, Cheng S, Li X. 3D printing: Innovative solutions for patients and pharmaceutical industry. Int J Pharm. 2023;631:122480. doi: 10.1016/j.ijpharm.2022.122480.

Библиографическая ссылка:

Сагиров М.Р., Нестеров А.М., Попов Н.В., Садыков М.И. Применение 3D - печати в стоматологии (краткий обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2025. №6. Публикация 1-8. URL: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-6/1-8.pdf> (дата обращения: 27.11.2025). DOI: 10.24412/2075-4094-2025-6-1-8. EDN FMCTIE *

Bibliographic reference:

Sagirov MR, Nesterov AM, Popov NV, Sadykov MI. Primenenie 3D - pechati v stomatologii (kratkij obzor literatury) [Application of 3D printing in dentistry (a brief literature review)]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2025 [cited 2025 Nov 27];6 [about 5 p.]. Russian. Available from: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-6/1-8.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2025-6-1-8. EDN FMCTIE

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://www.vnmt.ru/Bulletin/E2025-6/e2025-6.pdf>

**идентификатор для научных публикаций EDN (eLIBRARY Document Number) будет активен после загрузки полной версии журнала в eLIBRARY