

Тенденции применения аддитивных технологий в различных предметных областях и в медицинской сфере

¹ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский университет, г. Санкт-Петербург, ² ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», г. Санкт-Петербург

Shkrum A.S., Katasonova G.R.

Trends in the use of additive technologies in various subject areas and in the medical field

Резюме

Аддитивная технология позволяет с использованием 3D принтера создавать физические объекты трехмерного изображения на основе послойного формообразования твердого объекта. Сфера применения аддитивных технологий постоянно расширяется и стремительно развивается, появляются огромные возможности для использования технологии в различных предметных областях и видов производств. Рассмотрены методы и специальное прикладное программное обеспечение для 3D-моделирования. Проведен анализ применения специального машинного оборудования и технических электронных средств, разнообразных многослойных материалов для использования в различных предметных областях, в том числе, в сфере медицинских технологий.

Проведен обзор областей современной медицины, таких как ортопедия, нейрохирургия, челюстно-лицевая хирургия, кардиохирургия, фармакология, в которых с появлением аддитивных технологий и новых типов материалов появилась возможность печати внутренних органов, эндопротезов, костной и хрящевой ткани, индивидуальных слуховых аппаратов, стерильного инструментария, анатомических моделей, ортопедических протезов, печать таблеток. Рассмотрены этапы современного ортодонтического лечения в стоматологии с использованием 3D печати. Определены основные аспекты развития аддитивных технологий в РФ.

Объектом исследования являются аддитивные технологии. Целью данного исследования является обзор основных средств, методов и инструментов применения технологии 3D технологии в различных предметных областях, в том числе медицине

Ключевые слова: аддитивные технологии, моделирование, 3D-печать, аддитивное производство, медицинские технологии, стоматология

Для цитирования: Шкрум А.С., Катасонова Г.Р. Тенденции применения аддитивных технологий в различных предметных областях и в медицинской сфере, Уральский медицинский журнал, №05 (188) 2020, с. 216 - 220, DOI 10.25694/URMJ.2020.05.38

Summary

Additive technology allows using a 3D printer to create physical objects of a three-dimensional image based on layer-by-layer forming of a solid object. The scope of application of additive technologies is constantly expanding and rapidly developing, there are huge opportunities for using the technology in various subject areas and types of production. Methods and special application software for 3D modeling are considered. The analysis of the use of special machinery and technical electronic means, a variety of multilayer materials for use in various subject areas, including in the field of medical technologies. A review of the fields of modern medicine, such as orthopedics, neurosurgery, maxillofacial surgery, cardiac surgery, and pharmacology, in which with the advent of additive technologies and new types of materials, it is possible to print internal organs, endoprotheses, bone and cartilage tissue, individual hearing AIDS, sterile instruments, anatomical models, orthopedic protheses, and tablet printing. The stages of modern orthodontic treatment in dentistry using 3D printing are considered. The main aspects of the development of additive technologies in the Russian Federation are defined.

The object of research is additive technologies. The purpose of this study is to review the main tools, methods and tools for applying 3D technology in various subject areas, including medicine

Keywords: additive technologies, modeling, 3D printing, additive manufacturing, medical technologies, dentistry

For citation: Shkrum A.S., Katasonova G.R., Trends in the use of additive technologies in various subject areas and in the medical field, Ural Medical Journal, No. 05 (188) 2020, p. 216 - 220, DOI 10.25694/URMJ.2020.05.38

Введение

Сегодня в России и мире активно идет процесс популяризации аддитивных технологий или 3D-печати, использование которых позволяет снизить затраты, сэкономить время и найти универсальные решения при моделировании и изготовлении изделий и деталей в самых разных предметных областях.

Цель исследования. Обзор основных средств, методов и инструментов применения 3D технологий в различных предметных областях, в том числе медицине, и в частности, стоматологии.

Материалы и методы

Основополагающим для предпринимаемого исследования является общенаучный описательный метод, сопоставление, классификация, обобщение, интерпретация, анализ теоретической информации, анализ материалов компаний производителей и участников рынка аддитивных технологий 3D-печати.

Под аддитивной технологией (Additive Manufacturing – прибавляемый) понимается послойное наращивание и синтез объекта с помощью компьютерных 3D систем. За последние три года значительно увеличилось число российских компаний, использующих аддитивные технологии при моделировании и разработке изделий, что свидетельствует о востребованности 3D-технологий при изготовлении конечных продуктов в авиастроении, строительстве, сельскохозяйственной промышленности, судостроении, космонавтике, автомобильной промышленности, медицине и фармакологии.

Моделирование – это процесс изучения строения и свойств оригинала с помощью модели. 3D-моделирование – процесс разработки виртуальных объемных моделей любых объектов, позволяющий максимально точно представить форму, размер, текстуру объекта, оценить внешний вид и эргономику изделия [1].

Развитие новых информационных технологий в условиях активной цифровизации общества позволило создать широкий спектр программных средств по 3D-моделированию, которые представляют будущее изделие непосредственно на экране компьютера во всех ракурсах, позволяя оперативно устранять выявленные недостатки на любом этапе его разработки. Графические системы трёхмерной графики позволяют рассмотреть с разных плоскостных сторон изделие даже с его будущим окружением, смоделировать объекты виртуальной реальности, создавая на основе этих моделей изображения.

Лидерами среди многочисленных систем автоматизированного проектирования (САПР), 3D-моделирования, 3D-анимации и визуализации объектов являются 3dsMax,

AutoCAD, Maya компании Autodesk, открытое программное обеспечение Blender, Компас3D компании «Аскон», SketchUp компании Google [2]. Главными преимуществами данного типа программ является значительное сокращение затрат на проектирование, интеграция с другими программными продуктами (приложения для инженерных расчетов, интерактивная система управления изображениями, программы для получения и обработки панорамных и цефалометрические снимков и т.д.).

В ряде случаев внедрение на производстве программных средств по 3D-моделированию (САПР) позволяет значительно сэкономить ресурсы, упрощает работу персонала, повышает качество изделий, тем самым, расширяя возможности компании.

Разработанные в виде чертежей 3D модели распечатываются в автоматизированном режиме на 3D принтерах, способных получать изделия со свободно движущимися частями, которые не нужно собирать, предоставляя возможность компаниям экономично создавать нестандартные продукты в небольших количествах. Принцип работы 3D принтера заключается в послойном формировании изображения с использованием определенного типа порошка (материала).

Для трехмерной печати в качестве основного материала может использоваться пластмасса, гипсовый порошок, полимеры, воск, жидкие фотополимеры, керамика, титан, смола, нержавеющей сталь, полистирол.

Самыми популярными технологиями при 3D-печати являются: 1) моделирование с использованием метода послойного наплавления (FDM); 2) стереолитография (SLA); 3) селективное лазерное спекание (SLS).

При использовании метода послойного наплавления FDM (Fused Deposition Modeling) изделие получается путем наплавки экструзии термопластичной нити по слоям, повторяющих контуры цифровой модели. FDM метод использует недорогие материалы и предпочтителен для быстрого создания прототипов простых деталей. У данного метода печати низкая точность и разрешение, вследствие чего это не лучший способ получения изделий нестандартной геометрической формы с высокими требованиями к точности изготовления и качеству поверхности. В 3D-принтерах (технологии FDM) для улучшения качества получаемой поверхности используются механическая и химическая полировка, дорогостоящие конструкционные термопласты.

Четкие очертания, гладкую поверхность с высокой точностью и разрешением имеют изделия, полученные с помощью SLA (Laser Stereolithography) технологии, где используется фотополимеризация – процесс отверждения жидкой фотополимерной смолы в затвердевшую

пластмассу при помощи лазера. В SLA в зависимости от технических требований, для изготовления деталей, используются разные составы смол, соответствующие свойствам технических и промышленных термопластов. Данный вид печати является универсальным и популярным при изготовлении изделий в стоматологической и ювелирной областях, в машиностроении и образовании.

Для серийного производства используется метод печати при использовании селективного лазерного спекания - SLS (Selective Laser Sintering), использующий мощный лазерный луч для плавки мелких частиц полимерного порошка. С использованием данного метода печатаются прочные изделия со сложными внутренними деталями, имеющими нестандартную геометрию.

Кроме этого, единственной в мире 3D полноцветной печатью с принципом склеивания порошка, состоящего из гипса является технология CJP (ColorJet printing). В основе другой технология MJM (MultiJet Modeling) лежит принцип многоструйного 3D моделирования с использованием фотополимеров и воска.

Трендом современного развития аддитивных технологий является разработка расходных материалов, а именно водонепроницаемых, огнестойких полимеров, экструзионная печать из гранулята, биопечать, использование новых типов композитных материалов, фотополимеров. В частности, композитные материалы, наполненные углеродными волокнами, стеклом, нанотрубками позволяют печатать прочные и сложные изделия с необходимыми температурными требованиями на более простом и доступном оборудовании. Значительное снижение усадки материалов позволяет добиться качественной повторяемости размеров изделия, что является одним из самых важных параметров для 3D-печати.

Таким образом, появление усовершенствованных новых современных материалов, то есть печать объектов путем соединения различных материалов с помощью лазера, дает возможность более эффективно использовать FDM, SLA, SLS технологии для создания новых видов потребительской продукции, где основной тенденцией для 3D-печати является разработка материалов, ориентированных на конкретные предметные области и производственные задачи.

В результате появления в аддитивной 3D печати новых типов материалов в области медицины (ортопедии, нейрохирургии, челюстно-лицевой хирургии, кардиохирургии, фармакологии) появилась возможность печати для последующей процедуры трансплантации внутренних органов, эндопротезов, костной и хрящевой ткани, индивидуальных слуховых аппаратов, ортопедических протезов, стерильного инструментария, анатомических моделей, печать таблеток и т.п. К примеру, одной из сфер постоянного клинического применения аддитивного производства является технология проектирования с учетом анатомических особенностей персонализированных имплантатов, ряд компаний, работающих в сфере медицинских технологий, успешно занимается 3D-принтингом имплантатов и хирургического вспомогательного инструментария для проведения операций. Благодаря при-

менению метода послойной печати с использованием стволовых клеток трансплантация органов и тканей человеческого организма станет реальностью [3].

Одной из областей медицины, где наиболее быстрыми темпами происходит внедрение во врачебную практику аддитивных технологий, является стоматология. Эта тенденция привела к тому, что в настоящее время в ряде разделов стоматологии, в первую очередь в ортодонтии и ортопедии, фактически разворачивается новый этап технологической революции, что, помимо несомненных плюсов (повышение качества и эффективности лечения, снижение рисков осложнений и нежелательных побочных эффектов), ставит перед профессиональным сообществом новые вызовы в контексте необходимости повышения уровня знаний и навыков владения внедряемыми технологиями, а также необходимости пересмотра существующих образовательных программ и стандартов.

Так, в современной стоматологии для повышения точности и качества диагностики и лечения широко используются цифровые технологии виртуального обследования и моделирования лечения, в том числе компьютерная томография, внутриротовое сканирование, 3D моделирование и печать в ортодонтии, а также CAD/CAM технологии (Computer Assisted Design/Computer Assisted Manufacturing) в ортопедии, которая, как следует из названия, предполагает комплексное использование методов виртуального сбора исходных данных, планирования и моделирования будущего лечения, а также 3D производства инструментов и материалов, применяемых в его рамках.

Использование CAD/CAM технологий в ортопедической стоматологии имеет относительно продолжительную историю и сдерживалось отсутствием доступных методов их реализации во врачебной практике. Развитие компьютерной техники и компьютеризированных средств производства в последнее десятилетие позволило стоматологам-ортопедам значительно повысить эффективность лечения с помощью использования CAD/CAM технологий, в том числе обеспечивая лучшую предсказуемость желаемых результатов, высокую точность крепления ортопедической конструкции, снижение пористости по сравнению с традиционно обработанной конструкцией и т.д. [4] Важным моментом использования CAD/CAM технологий в ортопедической стоматологии является возможность осуществления полного личного контроля лечащим врачом на всех этапах лечения, включая диагностику, планирование, производство и использование в процессе лечения. При наличии соответствующего оборудования, 3D-принтера и квалификации, участие техника и иных специалистов в нем перестает быть необходимым.

В сфере ортодонтии ситуация выглядит несколько иным образом. Формирование цифровой инфраструктуры стоматологического лечения обусловило появление и стремительный рост популярности технологии индивидуальной съемной аппаратурой (элайнеры). При этом описание подобного метода лечения впервые встречается в специализированной литературе в США еще в 1940-е годы, однако его реализация на практике была фактиче-

ски невозможна до появления методов 3D-диагностики и 3D-печати. В настоящее время использование данного метода становится все более популярным среди врачей-ортодонт, поскольку обладает рядом несомненных преимуществ: эстетичность, отсутствие значительных затруднений для осуществления гигиены полости рта, меньшая травмоопасность по сравнению с традиционными брекет-системами. Также следует отметить, что в отличие от традиционных ортодонтических аппаратов, в которых коррекция окклюзии происходит постепенно по плоскостям, при лечении элайнерами организуется одновременное и разнонаправленное перемещение зубов [5].

В настоящее время на российском рынке представлен целый ряд систем так называемой «прозрачной ортодонтии», в том числе системы, разработанные международными компаниями, так или иначе вышедшими на российский рынок (путем разработки русскоязычного интерфейса программного обеспечения и в некоторых случаях локализации производства), например, Invisalign (американская компания Align Technology), и российскими компаниями Flexi Ligner, True Smile, Star Smile, 3D Smile и многие другие. Несмотря на различия, обуславливаемые особенностями интерфейса, организацией клинической поддержки и производства, данные системы используют одни и те же принципы организации и этапы ортодонтического лечения: 1) снятие слепков/3D-сканирование; 2) сбор данных/3D-визуализация и построение цифровой анатомической модели; 3) 3D-печать элайнеров; 4) совместная работа врача и пациента по применению кап.п.

Отдельной сферой технологических разработок в связи с внедрением аддитивных технологий в стоматологические практики является область создания усовершенствованных и новых материалов для изготовления инструментов (элайнеры и т.д.) и продуктов (коронки, вкладки и т.д.) стоматологического лечения. Ведется активная работа по усовершенствованию качества фотополимеров для 3D-печати. Одной из важных проблем при создании изделий, которые используются в медицине и стоматологии является вопрос полного отслеживания каждого этапа с точной диагностикой, устранение ошибок и дефектов в процессе изготовления изделия, то есть грамотное управление качеством аддитивного производства детали. В связи с этим крупные производители создания 3D моделей планируют присвоить каждому изделию электронный паспорт, в котором будет содержаться вся информация о детали, включая, например, видеозапись ее послойного построения в камере принтера, с помощью которой можно отслеживать, что происходит в каждом слое.

Сегодня разрабатывается новое программное обеспечение, позволяющее выполнять скрупулезный сбор данных об изделии в момент его создания с дальнейшим анализом, связывающий способ и технологию производства с последующим жизненным циклом изделия. В свою очередь, за высокое качество оцифровки отвечают 3D сканеры, которые способны отсканировать с высокой производительностью и разрешением объекты любой

сложности. Они обеспечивают качественный и оперативный сбор и анализ данных реального объекта (форму, цвет, размеры) для последующего преобразования его в цифровую трехмерную модель. Это позволяет специалистам любой области экономить время и деньги при разработке нового изделия, к примеру, сканирование ювелирных украшений.

Печать металлами и керамикой позволяет интегрировать аддитивные технологии во всевозможные производственные индустрии, такие как автомобилестроение и машиностроение. В ближайшие годы упор на применении 3D-оборудования будет наблюдаться, прежде всего, в военной отрасли, медицине, строительстве и образовании.

Широко применяются аддитивные технологии при изучении программного обеспечения по 3D моделированию в средней школе, колледжах и в вузах, так как, в связи со снижением стоимости 3D принтеров появляется возможность печати смоделированного изображения в объеме, по которому наглядно виден результат, допущенные ошибки выполненной работы. К примеру, для развития детей разработан дистанционный курс «Основы 3D-моделирования в TinkerCAD и 3Dпечать» [6], помогающий развить фантазию и воображение, понять основы проектирования, приобрести первые инженерные навыки, освоить новые интерактивные программы обучения.

В связи с нарастающим интересом педагогов и обучающихся к изучению аддитивных технологий Министерство образования разработало программу поэтапного обучения педагогов аддитивным технологиям. Системный подход при изучении 3D технологий предоставляет в дальнейшем обучающимся огромный выбор новых рабочих мест, начиная от проектировщика и архитектора до специалиста в области пищевой промышленности, дизайнера продукта и искусства.

Основными аспектами развития аддитивных технологий являются: 1) проектирование для аддитивных производств; 2) образование и тренинги; 3) применение все более широкого спектра различных материалов для 3D-печати; 4) изготовление продукции по индивидуальным заказам и мелкосерийное производство; 5) партнерство и сотрудничество; 6) компании-стартапы; 7) стимулирующие эффективную деятельность цепочки поставок; 8) данные, безопасность и межотраслевое взаимодействие; 9) инвестиции в применение аддитивных технологий на производстве; 10) корпоративные центры обучения и внедрения передового опыта [7].

Становится все более очевидным, что успешное аддитивное производство – это плод коллективных усилий. Представители всех сфер промышленности в различных предметных областях понимают важность взаимного обогащения знаниями и опытом. В Российской Федерации открываются новые центры аддитивных технологий, успешно функционирует государственная программа «Точка роста» где применяются инновационные информационные технологии и средства обучения, зарождается процесс внедрения опыта использования аддитивных технологий в образовательный процесс (появление отдельных учебных дисциплин в области аддитивных тех-

нологий в высших учебных заведениях с формированием профессорско-преподавательского состава).

Заключение

Российский рынок в области 3D развивается поступательными темпами и накапливает компетенции для выхода на международный уровень, охватывая весь спектр решений от 3D-принтеров и расходных материалов до усовершенствования 3D-сканеров и программного обеспечения, стремительное развитие 3D-услуг. Главным преимуществом аддитивного производства является возможность оперативного настраивания производственного процесса изготовления изделий по запросу потребителей и производства определенного объема конечной продукции.

Для российской медицинской промышленности, сферы услуг, производства и образования становится очевидным, что аддитивные технологии (3D-печать) – это способ существенной экономии ресурсов и повышение качества продукции, эффективный инструмент в обучении, это новые возможности в модернизации и расширении бизнеса, начиная от производства товаров народного потребления до конфигураций цепочки поставок запасных (составных) частей изделия в различных предметных областях. ■

Шкрум А.С. ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский университет, Санкт-Петербург, Катасонова Г.Р. ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», Санкт-Петербург

Литература:

1. *Моделирование систем и процессов : учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова, Г. В. Горелова, В. Н. Козлов [и др.] ; под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. - М. : Издательство Юрайт, 2015. - 449 с. - Серия : Бакалавр. Академический курс.*
2. *Бугаев И.В. Роль компьютерного моделирования в аддитивных технологиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5-3 (47). С. 64-66.*
3. *Котельников Г.П. Применение 3D-моделирования и аддитивных технологий в персонализированной медицине // Г.П. Котельников, А.В. Колсанов, А.Н. Николаенко, Н.В. Попов, В.В. Иванов, А.Е. Щербовских, С.А. Приходько, П.В. Платонов // Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи. 2017. № 1. С. 20-26.*
4. *Аствацатрян Л.В., Гажва С.И. Современные аспекты использования 3D-технологий в изготовлении съемных зубных протезов // Современные проблемы науки и образования. 2017. №1. С. 39-45*
5. *Калягина В.Н. Ортодонтическое лечение с применением прозрачных кап (элайнеров). Молодой ученый. Июль 2019. №30 (268). С. 27-29.*
6. *Шустиков В. Аддитивные технологии – что это такое и где применяются // [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sk.ru/news/b/press/archive/2019/09/18/additivnye-tehnologii-_1320_-chto-eto-takoe-i-gde-primenyayutsya.aspx / (дата обращения 17.02.2020).*
7. *Попадюк С.С. Formnext 2019: давайте напечатаем будущее // [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.iqb.ru/formnext-2019/> / (дата обращения 14.02.2020).*