

Егоров Кирилл Николаевич,

*студент кафедры систем автоматизированного проектирования,
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет,
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),
г. Санкт-Петербург*

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Аннотация. Статья посвящена изучению аддитивных технологий, применяемых на современном этапе развития общества. По результатам анализа литературных источников выделены основные технологии 3D-печати, применяемые в различных областях промышленности. Проанализированы и представлены основные проблемы массового применения аддитивных технологий. Изучены и проанализированы различные технологии применения аддитивных технологий. Предложены основные направления перспективного развития аддитивных технологий на современном этапе.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-принтер, экструзия, фотополимеризация, лазерное спекание, стереолитография, струйная печать.

Актуальность настоящего исследования обусловлена тем, что сегодня технологическая революция захватывает практически все сферы профессиональной деятельности человека. Одним из перспективных направлений развития промышленности сегодня являются аддитивные технологии [1, с.2; 2, с. 4; 3, с.4; 6, 7, 12]. Область применения аддитивных технологий достаточно широка – от печати потребительских товаров, учебных макетов, пищевых продуктов до создания индивидуальных хирургических инструментов и лекарств, печати человеческих органов и тканей (биопринтинг) [1, с. 3; 3, с. 5; 4, с. 7; 5, с 6; 7, с. 8-12; 9, с. 8; 17, с. 11]. Таким образом, сегодня аддитивные технологии (3D-

НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

печать) являются одним из перспективных направлений развития производства в различных отраслях экономики – от промышленности до области образования и медицины. Несмотря на то, что технология 3D-печати не нова (первый принтер (стереолитографический) был создан в 1986 году Чарльзом Халом, а FDM – технология появилась уже к 1996 году, в виде принтера Actua 2100), активное развитие 3D-принтеров как потребительских продуктов началось примерно с 2011 года.

Применение 3D-печати в производстве различных товаров и продуктов имеет как свои преимущества, так и недостатки, связанные с особенностями технологических процессов и соблюдения безопасности данной технологии. Изучение перспектив развития и применения аддитивных технологий является достаточно перспективным.

В соответствии с вышеизложенным, целью настоящего исследования стало изучение основных технологий 3D-печати с выявлением основных недостатков, преимуществ и перспектив их развития.

Метод исследования – анализ научных литературных данных.

Задачи исследования:

Выявить по данным литературы технологические особенности 3D-печати, применяемые на современном этапе развития промышленной индустрии.

Изучить основные проблемы развития аддитивных технологий.

Определить основные перспективы развития аддитивных технологий в современном обществе.

Известно, что 3D-печать представляет собой технологический процесс создания трехмерного объекта из цифровой модели путем послойного нанесения соответствующего материала на нижележащие слои [2, с. 8; 3, с. 7; 7, с. 8; 8, с. 11].

Главная особенность работы 3D-принтеров заключается в том, что все получаемые модели являются трёхмерными и наносятся послойно, слой за слоем, по заданным параметрам [2, с. 5; 5, с. 2; 6, с. 9].

НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

Наибольший интерес представляет применение аддитивных технологий в медицине, так как сферы применения напечатанных изделий достаточно широк и может помочь как в реализации учебного процесса, так и в улучшении медицинской помощи и пересадке органов [3, с. 6; 7, с. 8-13, 8, с. 6; 13, с. 9; 17, с. 11].

Введение современных информационных технологий в медицине является перспективным, это выводит здравоохранение на более высокую ступень развития [9, с.3].

Области применения аддитивных технологий в медицине достаточно широки [7, с. 3 – 9; 10, с. 9; 11, с.8; 15, с. 11; 19, с. 12]. Стоит отметить новый уровень обучения в медицинских университетах. Применение аддитивных технологий в образовательном процессе позволяют сделать процесс усвоения новой информации более эффективным и показательным [9, с. 11]. Создание 3D-моделей органов и тканей позволяют смоделировать предстоящий ход оперативного вмешательства, что значительно улучшает качество медицинской помощи [7, с. 10 – 12; 8, с. 3; 20, с. 12; 21, с. 8].

3D-печать лекарственных средств сегодня является перспективным направлением развития фармакологии [2, с. 3; 7, с. 8 – 14; 12, с. 5; 15, с. 9].

Применение аддитивных технологий в стоматологии, челюстно-лицевой хирургии, травматологии и ортопедии позволяет персонализировать медицинскую помощь, тем самым делая лечение максимально адаптированным человеку [7, с. 3 – 7; 18, с. 12; 20, с. 10; 21, с. 8].

Биопечать - относительно новое направление развития медицины, которое появилось благодаря стремительному развитию аддитивных технологий. В основе биопечати заложен принцип постепенного (послойного) создания твердой модели, которая «выращивается» из определённого биологического материала [3, с. 2; 6, с. 11; 7, с. 10-14; 17, с. 4; 19, с. 2].

НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

Таким образом, применение 3D принтеров в медицине представляет собой огромный скачок вперед, способный решить проблему инвалидности и нехватки органов для пересадки.

Еще одним из перспективных направлений в применении аддитивных технологий, является 3D-печать пищевых продуктов. Данное направление, при его развитии, способно будет решить глобальную продовольственную проблему за счет «печати» продуктов питания из дешевого сырья (коллаген, растительное сырье, грибы, водоросли, мучные черви и т.д.) [4, с. 6; 5, с. 3; 14, с. 11]. Кроме того, 3D-печать пищевых продуктов — это возможность создавать персонализированную пищу с индивидуальным набором ингредиентов (нутриентов, макро-микроэлементов, витаминов и т.д.) для людей с определенными потребностями (спортсмены, лица, ведущие здоровый образ жизни, или лица, имеющие определённые заболевания) [4, с. 11; 5, с. 5].

Кроме перечисленных выше областей, аддитивные технологии применяются в архитектуре, строительстве, производстве потребительских товаров, детских игрушек и т.д. [1, с. 12].

3D-сканеры отличаются по многим параметрам: сфере использования, габаритам, форме, технологии. Сегодня используются различные технологии 3D-печати в зависимости от области применения, поставленной задачи и запланированного конечного результата

По результатам анализа литературных источников были выделены следующие основные технологии 3D печати, наиболее часто применяемые сегодня [4, с. 8; 5, с. 11; 6, с. 8; 7, с. 6; 8, с. 2]:

Струйная технология:

а) непрерывная струйная печать (continuous inkjet printing, CIJ) и струйная печать по требованию (drop-on-demand, DoD). При этом головка принтера выталкивает сформированные капли друг на друга для получения твердого слоя выстраиваемого материала («капельное осаждение»), или она выталкивает капли на твердый материал («осаждение на твердой основе»).

НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

б) PBP (powder binder printing) - порошково-связующая печать. Струйная печатающая головка принтера движется через слой порошкообразного пищевого сырья и избирательно наносит жидкий связующий материал. Затем на всю обработанную поверхность наносят новый тонкий слой порошка, и процесс струйной печати повторяется. При данной технологии происходит наслаивание прилипших частей порошка друг на друга слой за слоем, образуя готовое изделие. После завершения печати оставшийся несвязанный порошок удаляется, а оставшиеся слепленные частицы образуют готовое изделие.

Экструзия (технология послойного наплавления, fused deposition modeling, FDM). При этом 3D-печать происходит в результате экструзии быстрозатвердевающего материала. В экструдере 3D- принтера термопластик нагревается до точки плавления и выдавливается через движущееся по заданной траектории сопло, создавая единичный слой изделия. Затем наносится следующий слой изделия поверх напечатанных.

Фотополимеризация – лазерная стереолитография (laser stereolithography, SLA) Полимеризация и формирование твердого физического объекта в точках соприкосновения луча лазера и фотополимера с дальнейшим закреплением под ультрафиолетом. Происходит высвобождение молекул свободных радикалов при взаимодействии молекул фотоинициатора с ультрафиолетовым светом (УФ). Сфокусированный луч УФ векторно сканирует поверхность ванны с фотополимеризуемой жидкой полимерной пластичной смолой, создавая 3D-объект.

Выборочное лазерное спекание (selective laser sintering, SLS). Последовательное спекание слоев порошкового материала с помощью лазеров высокой мощности, что обеспечивает спекание частиц сырья. Спекание производится за счет вычерчивания контуров, заложенных в цифровой модели, с помощью одного или нескольких лазеров. По завершении формирования слоя рабочая платформа опускается и наносится новый слой сырья. Процесс повторяется до образования готового продукта. Перед началом печати сырье могут подогреть.

НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

вать до температуры чуть ниже точки плавления, чтобы облегчить процесс спекания.

По данным литературы, основными проблемами развития и массового применения аддитивных технологий сегодня можно назвать следующие [7, с. 18-20; 11, с. 8; 16, с. 9; 19, с. 11]:

Отсутствие единой нормативной базы, регулирующей аддитивное производство, особенно в таких областях, как медицина, пищевая индустрия, строительство;

Высокая стоимость 3D-принтеров и расходных материалов для 3D-печати;

Сложность в создании товаров, состоящих из различных материалов (ингредиентов);

Проблемы безопасности аддитивного производства, которые можно разделить на несколько категорий –

а) информационная безопасность - безопасность, связанная с охраной цифрового кода с целью предотвращения нарушения технологического процесса печати продукта и, как следствие, причинения вреда здоровью (например, при печати пищевых продуктов, лекарств, потребительских товаров и т.д.),

б) безопасность, связанная с предотвращением попадания посторонних веществ (химических, физических, биологических, бактериологических) в продукцию во время процесса 3D-печати. Мероприятия должны быть направлены на разработку нормативных документов, регламентирующих производство 3D-принтеров, их сертификацию и выполнение их из безопасных материалов, не допускающих попадание вредных веществ в создаваемые товары,

в) безопасность, связанная с самим процессом аддитивного производства, обусловленная тем, что во время 3D-печати могут выделяться токсичные вещества в количествах, превышающих допустимую максимальную концентрацию, что требует применения средств защиты для лиц, работающих на 3D-принтерах.

НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

В результате анализа научной литературы, можно предположить следующие перспективы применения и развития аддитивных технологий [2, с. 10; 3, с. 10; 5, с. 8; 6, с. 2; 7, с. 20; 10, с. 11; 13, с. 10; 17, с. 12; 18, с. 2; 20, с. 5; 21, с.7]:

Биопринтинг - 3D-печать кожи, хрящей, возможность восстановления дефектов кожи непосредственно в области раны у человека.

При модернизации технологии 3D-печати возможно создание тканей и органов человека, состоящих из различных клеток (биопринтинг).

Массовое производство тканей и частей органов человека с целью изучения действия различных фармпрепаратов.

Создание персонафицированной медицины. 3D печать индивидуальных хирургических инструментов для конкретного пациента с учетом его индивидуальных особенностей, 3D-печать индивидуальных ортезов, протезов, имплантов и т.д.

Создание индивидуализированных лекарственных препаратов с уникальным профилем высвобождения лекарственного средства, с оптимальным режимом дозирования, создание лекарственной формы, состоящей из двух и более лекарственных препаратов.

Создание пищевых продуктов заданной формы, цвета и вкусовых качеств, с запрограммированным набором нутриентов, макро-микроэлементов.

Возможность решения продовольственной проблемы, создание индивидуальных продуктов питания с конкретным набором ингредиентов, создание пищевых «артобъектов» для украшения тортов, пирожных, других блюд («эстетическая гастрономия»).

Создание индивидуальных потребительских товаров (индивидуальная обувь, одежда, мебель на заказ, индивидуальные игрушки, посуда и т.д.).

3D-печать деталей автомобилей, промышленных станков, строительных и архитектурных элементов и т.д.

Выводы.

НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

В результате данного исследования были изучены технологические особенности 3D-печати, применяемые на современном этапе развития промышленной индустрии. Сегодня преимущественной технологией 3D-печати является FDM технология – экструзионная печать. Это обусловлено наибольшим количеством представленных 3D-принтеров данной модели, относительно доступной их ценой, разнообразием применяемого сырья для производства различных продуктов и товаров.

Основные проблемы, сдерживающие сегодня массовое развитие аддитивных технологий, выражаются в отсутствии единой нормативной базы, регулирующей аддитивное производство, высокой стоимости 3D-принтеров и расходных материалов для 3D-печати, сложности создания товаров, состоящих из различных материалов, проблемах безопасности аддитивного производства.

Основные перспективы развития аддитивных технологий следует рассматривать в области медицины, пищевой промышленности и производства потребительских товаров.

Несмотря на объективные сложности, которые встречаются при внедрении аддитивных технологий в современную промышленность, можно предположить, что за 3D-печатью будущее. Новые технологии стремительно набирают обороты и будут служить развитию науки и спасению человеческих жизней.

Список литературы:

- 1. Безвесельная А. С. Технологии трехмерной печати как инновационный способ организации торговли // Вектор экономики. – 2017. – № 11 (17). – С. 37-45. – Текст : непосредственный.*
- 2. Блынская Е. В., Тишков С. В., Алексеев К.В. Технологии трехмерной печати для производства лекарственных форм // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2018. – № 3 (24). – С. 10-19. – Текст : непосредственный.*
- 3. Буйнов М. А., Воротников А. А., Климов Д. Д., Малышев И. Ю., Миронов В. А., Парфенов В. А., Перейра Фредерико Давид Де Сена, Подураев Ю. В., Хесуани*

НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

Ю. Д. Робототехнические технологии в медицине и биопринтинге: состояние проблемы и современные тенденции // Вестник МГТУ Станкин. – 2017. – № 1 (40). – С. 127-131. – Текст : непосредственный.

4. Гришин А. С., Бредихина О. В., Помоз А. С., Пономарев В. Г., Красуля О. Н. Новые технологии в индустрии питания – 3D-печать // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: пищевые и биотехнологии. – 2016. – Т. 4. – № 2. – С. 36-44. – Текст : непосредственный.

5. Дресвянников В. А., Страхов Е. П., Возмищева А. С. Анализ применения аддитивных технологий в пищевой промышленности // Продовольственная политика и безопасность. – 2017. – Т.4. – №3. – С. 133-139. – Текст : непосредственный.

6. Духанина М. В., Ольшевская А. С., Морозов А. М. Перспективы технологии 3D-биопринтинга // Тверской медицинский журнал. – 2017. – №6. – С. 133-137. – Текст : непосредственный.

7. Егоров К. Н., Егорова С. А., Петрякова В. Г. Аддитивные технологии в медицине: области и технологии применения, преимущества, недостатки и перспективы развития // Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки в современном мире (29 июня 2021 г., г. Уфа). – Уфа : Изд. НИЦ Вестник науки, 2021. – С. 32-41. – Текст : непосредственный.

8. Жорова А. А. Возможности существующих технологий 3D-печати в медицине // Смоленский медицинский альмамах. – 2018. – №1. – С. 16-109. – Текст : непосредственный.

9. Карчага Е. С. 3D печать: прогресс в медицине // Столица науки. – 2020. – №7 (24). – С. 49-57. – Текст : непосредственный.

10. Карякин Н. Н. Горбатов Р. О. Современные достижения в медицинской 3D-печати // 3D-технологии в медицине: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. – Нижний Новгород, 2019. – С. 51-53. – Текст : непосредственный.

НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

11. Князев Э. Ю. Компьютерное моделирование аддитивных технологий для эффективного внедрения 3D-печати в медицину // 3D-технологии в медицине: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. – Нижний Новгород, 2019. – С. 16-17. – Текст : непосредственный.
12. Мансилья-Де-Ла-Круз Хессика, Родригес-Сальвадор Марисела, Руис-Канту Лаура Перспективы фарминдустрии: аддитивное производство средств целевой доставки препаратов // Форсайт. – 2020. – Т. 14. – №3. – С. 55-70. – Текст : непосредственный.
13. Медведев М. П., Фомина М. А. 3D-печать как новая эпоха в медицине // Новая наука: от идеи к результату. – 2016. – Т.4. - № 11. –С. 16-19. – Текст : непосредственный.
14. Мелещя А. В., Калтович И. В., Пинчук Г. П. Подбор перспективных видов мясного и коллагенсодержащего сырья для создания смесей и эмульсий для аддитивных технологий // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. – 2019. – №13. – С. 129-143. – Текст : непосредственный.
15. Тихомиров Е.М. Разработка метода аддитивной печати лекарств // СПБНТОРЭС: Труды ежегодной НТК. – Санкт-Петербург, 2019. – № 1 (74). – С. 276-278. – Текст : непосредственный.
16. Тулякова Т. В., Озерова В. В., Шибанов Э. Д. Некоторые аспекты обеспечения безопасности продуктов, изготавливаемых с применением пищевых аддитивных технологий // Заметки ученого. – 2021. – №24. – С. 84 – 92. – Текст : непосредственный.
17. Ульянов А. И., Демина П. Н. Анализ современных тенденций в биопринтинге и перспективы развития технологий // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – Томск, 2020. – № 1-2. – С. 277-280. – Текст : непосредственный.
18. Умаров Н. А., Рябчиков И. В. Инновационные разработки в ортезировании с применением 3D-печати // 3D-технологии в медицине: материалы IV Всерос-

НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

сийской научно-практической конференции. – Нижний Новгород, 2019. – С. 37-38. – Текст : непосредственный.

19. Финкина А. П. Правовой статус 3D-биопринтинга // *Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий Национальный Университет». – 2021. – Т. 4. – № 13. – С. 64-70. – Текст : непосредственный.*

20. Шишкин В.Б. Мари: компьютерная программа для коррекции костных деформаций: от планирования до 3D-печати // *3D-технологии в медицине: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. – Нижний Новгород, 2019. – С. 39-40. – Текст : непосредственный.*

21. Яриков А.В., Горбатов Р.О., Денисов А.А., Смирнов И.И., Фраерман А.П., Соснин А.Г., Перльмуттер О.А., Калинин А.А. Применение аддитивных технологий 3D-печати в нейрохирургии, вертебрологии, травматологии и ортопедии // *Клиническая практика. – 2021. – Т. 12. – № 1. – С. 90-104. – Текст : непосредственный.*