

# Аддитивные производственные технологии в здравоохранении

Марисела Родригез-Сальвадор

Профессор, marisrod@itesm.mx

Леонардо Азаэль Гарсиа-Гарсиа

Постдокторант, leonardogarcia@itesm.mx

Школа технических и естественных наук при Технологическом институте в Монтеррее (Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey), Мексика, Avenida Eugenio Garza Sada 2501 Sur, Colonia Tecnológico, Monterrey, Nuevo León, 64849, México

## Аннотация

**А**ддитивные производственные технологии (АПТ), в частности 3D-печать, — сравнительно молодое, но динамичное технологическое направление, меняющее облик многих секторов. Они предоставляют широкие возможности в создании сложных изделий, изготовлении персонализированных продуктов, сокращении временных, трудовых и иных затрат. В статье оценивается степень распространения АПТ в здравоохранении, идентифицируются основные сферы их применения и наиболее популярные материалы. Исследование охватывает период с января 2005 г. по апрель 2015 г. В ходе патентного анализа поисковые запросы корректировались в несколько итераций до достижения оптимального

формата. Полученные результаты прошли экспертную валидацию. Выявлены три основные сферы применения АПТ, в числе которых лидирующую позицию занимает зубное протезирование. Установлен широкий спектр используемых материалов, среди которых доминирующую роль играет пластик. В патентах на изобретения, связанные с шунтированием сосудов и протезированием сухожилий, чаще всего встречается полиэтилен. Наиболее распространенным материалом для зубного протезирования является керамика. Лишь в немногих патентах упоминаются металлы, прежде всего титан. Исследование подтвердило гипотезу о растущих масштабах применения АПТ в медицинских целях.

**Ключевые слова:** аддитивное производство; здравоохранение; 3D-печать; материалы; зубное протезирование; сосудистое протезирование; патентный анализ.

**Цитирование:** Rodríguez-Salvador M., García-García L.A. (2018) Additive Manufacturing in Healthcare. *Foresight and STI Governance*, vol. 12, no 1, pp. 47–55. DOI: 10.17323/2500-2597.2018.1.47.55

Эффективное планирование стратегий исследований и разработок (ИИР) невозможно без расширенного представления о складывающемся научно-технологическом ландшафте и новейших технологических достижениях. В последние годы для оценки технологического развития все чаще применяется анализ научных публикаций и патентов. Наряду с экспертной оценкой он служит инструментом конкурентной технологической разведки (*competitive technology intelligence*), назначение которой — систематический сбор и анализ данных как основа для принятия решений в сфере инноваций. Патентный анализ позволяет оценивать индикаторы технологического развития, выявлять новые производственные процессы и материалы, идентифицировать активных игроков. Патентование рассматривается как один из ключевых механизмов защиты интеллектуальной собственности [Okamoto et al., 2017; Zhang et al., 2015], представляющий существенную ценность для бизнеса, юриспруденции, промышленности и политики. Патенты содержат сведения об охраняемом изобретении, его создателе, владельце и т. п. Они применяются для мониторинга траекторий технологического развития [Bonino et al., 2010], выявления его связей с показателями экономического роста. Например, в работе [Archibugi, Pianta, 1996] продемонстрирована существенная корреляция между активностью предприятий и отраслевой специализацией промышленности. Экономический рост определяется прогрессом технологий, что подтверждается изучением связей между интенсивностью инновационной деятельности в ряде секторов и общеэкономическими показателями [Fabry et al., 2006; Rodríguez et al., 2014].

Патентный анализ впервые получил широкое применение в США начиная с 1970-х гг. [Attar, Fraenkel, 1977]. Он рассматривается как надежная платформа для выявления новых тенденций в сфере создания знаний [Bonino et al., 2010; Archibugi, Pianta, 1996; Fabry et al., 2006; Rodríguez et al., 2014; Abercrombie et al., 2012], считается одним из лучших методов технологического прогнозирования [Trappey et al., 2015]. Этот инструмент позволяет определить передовые направления научно-технического прогресса, сформировать представления о его динамике, спрогнозировать поведение конкурентов. Цели и характер применения патентного анализа зависят от конкретных проектов [Fujii, 2007; и др.], в числе которых можно упомянуть:

- исследование прошлых и прогнозирование будущих тенденций развития на основе кластеризации и построения временных рядов патентных данных [Chang et al., 2014];
- построение индикаторов для планирования инвестиций в технологическое развитие и маркетинговых стратегий [Dehghani, Dangelico, 2017];
- оценку темпов распространения технологий, их жизненного цикла, потенциала патентной экспансии и «патентной силы» [Altuntas et al., 2015].

Однако вне зависимости от целей использования патентный анализ достаточно сложен в методическом плане и требует определенного опыта и знаний в ана-

лизируемой технологической области. Его сочетание с экспертной оценкой позволило составить максимально детальный ландшафт использования аддитивных производственных технологий (*additive manufacturing*, далее — АПТ) и соответствующих материалов в медицинских целях.

АПТ стали применяться в производстве медицинских устройств сравнительно недавно, но уже привели к масштабным трансформациям этого процесса. Принцип работы устройств трехмерной печати аналогичен струйным и лазерным принтерам: путем послойного наложения материала формируются объемные объекты. Для этой цели используются различные методы — селективное лазерное спекание (*selective laser sintering*), термическая струйная печать или моделирование посредством послойного наплавления (*fused deposition modelling*). АПТ обеспечивают гибкое создание изделий любой формы, персонализированных продуктов, экономят время, сокращают отходы производства и др. Они продолжают динамично развиваться: разрабатываются новые методы и материалы, расширяются сферы их применения [Ventola, 2014; Schubert et al., 2014]. Как следствие, АПТ способны радикально изменить облик различных секторов. К их числу относится и здравоохранение, где появляется возможность создавать уникальные инструменты, оборудование и индивидуальные медицинские устройства (например, импланты) [Ventola, 2014]. Благодаря АПТ импланты изготавливаются значительно быстрее, чем с применением традиционных технологий, предполагающих цепочку последовательных процессов [Ventola, 2014; Hornick, 2016]. Они могут гибко приспособиваться к физиологическим особенностям пациента, что обеспечивает удобство в использовании и низкую степень отторжения (типичного для продукции массового производства). Так, для изготовления протезов, с помощью рентгеноскопии, компьютерной или магнитно-резонансной томографии получают необходимые снимки органов пациента. На их основе формируется трехмерная модель, которая преобразуется в файл для трехмерной печати целевого компонента. Известны случаи успешного создания с помощью подобных процессов черепных, челюстных или тазобедренных имплантов, протезов верхних и нижних конечностей [Hornick, 2016]. Для их изготовления применяются биосовместимые материалы, например титан или нержавеющей сталь [Ventola, 2014; Schubert et al., 2014; Hornick, 2016; Banks, 2013; Álvarez, Nakajima, 2009].

Скорость распространения АПТ иллюстрируется динамикой патентных заявок. В 2014 г. по сравнению с 2013 г. прирост их числа в рассматриваемой области составил 31.6%, а в 2015 г. — еще 25.9% [Wohlers et al., 2016]. К 2016 г. самым популярным материалом для АПТ стали фотополимеры (упоминаются в 45.5% патентных заявок); следом идут полимерные порошки для лазерного спекания (24.9%) и волокна (15.1%). На долю металлов приходится всего 11.5% заявок.

Использование интеллектуальной собственности в сфере здравоохранения приобрело особый динамизм,

начиная с 2009 г., причем производственные компании заметно опережают университеты. В 2014 г. было выдано 668 патентов, имеющих отношение к АПТ (для сравнения: в 1995 г. — всего 25) [Wohlens et al., 2016], оборот данной индустрии оценивался в 700 млн долл. Удельный вес здравоохранения составил лишь 1.6% этой суммы, однако к 2024 г. прогнозируется его увеличение до 21% [Schubert et al., 2014]. Ввиду колоссального потенциала и растущих потребительских ожиданий динамика развертывания АПТ нуждается в постоянном мониторинге. Попытки оценить перспективы их распространения в медицине предпринимаются во всем мире. Так, опубликованы работы, описывающие преимущества использования АПТ, тенденции развития [Ventola, 2014], существующие и потенциальные области применения в сфере здравоохранения, прогнозы ее рыночных оборотов [Schubert et al., 2014]. В нашей предыдущей статье [Rodríguez et al., 2014] представлены результаты патентного анализа, позволившего выявить глобальные тенденции в области био-АПТ, лидирующих игроков (страны, организации, изобретателей) и технологические направления.

Материалы и процессы, используемые в АПТ, непрерывно совершенствуются, что открывает широкие возможности для инновационной деятельности и повышения конкурентоспособности. Однако патентный анализ в целях их отслеживания ранее не выполнялся. Мы попытались восполнить пробел, представив результаты патентного анализа, позволяющие оценить потенциал ИиР в создании инновационных материалов для применения в медицинских АПТ. Полученные выводы прошли экспертную валидацию.

## Методология исследования

Сбор информации осложнялся необходимостью анализировать две предметные области — АПТ и сектор здравоохранения. Для его выполнения потребовалось разработать специальную стратегию поиска. Оптимизация поисковых запросов обеспечила получение необходимых сведений, которые в случае некорректной постановки задач остались бы неохваченными. Аккумулировались данные за десятилетний период — с 2005 по 2015 г. (до 15 апреля). В статье представлены основные сферы применения АПТ и наиболее часто используемые в этих целях материалы, отражена статистика ежегодно регистрируемых патентов. Эти сведения помогут получить более полное представление о развитии АПТ. Методология исследования охватывает несколько шагов, выполняемых итеративно вплоть до получения и валидации требуемых результатов:

- планирование исследования;
- выявление источников информации;
- разработка стратегии сбора информации;

- сбор сведений;
- экспертиза собранной информации;
- анализ данных;
- экспертиза результатов анализа;
- формулирование выводов.

Первоначальный этап — планирование — заключался в постановке исследовательских задач, определении необходимых мероприятий и порядка распределения ресурсов.

На следующей стадии идентифицировались источники информации. Регистрация изобретений отслеживалась по базе данных PATSEER<sup>1</sup> — мощной интернет-платформе, включающей свыше 92 млн записей о патентных заявках, зарегистрированных крупнейшими патентными ведомствами мира. PATSEER содержит библиографическую информацию из 140 стран и полные тексты заявок, зарегистрированных в 27 организациях<sup>2</sup>. Затем определялись ключевые слова, формулировались оптимальные поисковые запросы с опорой на углубленный анализ статей и отчетов, содержащихся в репозиториях научных публикаций, и экспертные консультации. Процесс выполнялся рекурсивно, поисковые запросы корректировались по мере необходимости. Патенты отбирались исходя из названий и аннотаций, проверялась их пригодность для дальнейшего анализа. Сканирование проводилось с применением специального программного пакета Patent iNSIGHT Pro<sup>3</sup>. При обработке колоссальных массивов документов, его усовершенствованные алгоритмы дают представление о ситуации в той или иной области исследований. Полученные результаты очищались от «шума» — патентов, не относящихся к рассматриваемой сфере, после чего подвергались дополнительной экспертизе на пригодность для анализа. В результате обозначились спектр возможностей для создания инноваций и потенциальные угрозы. Для того чтобы идентифицировать информацию, подлежащую наукометрическому анализу, при формулировке ключевых слов и поисковых запросов были задействованы логические (булевы) операторы. В поисковую стратегию включались дополнительные термины в зависимости от хронологических рамок поиска. Обработывались следующие поля: аннотация, название, объем патентной защиты (табл. 1). Собранные по итогам каждого запроса данные фильтровались. Если они выходили за рамки исследования, соответствующий поисковый термин заменялся другим. Алгоритм корректировки запросов отражен в табл. 2.

Первоначально хронологические рамки (стадия А) определялись с даты регистрации самого старого патента в базе данных (01.01.1700) до появления новейшего на момент выполнения исследования (15.04.2015). По итогам поисковых запросов 1–5 (табл. 2) оказа-

<sup>1</sup> Режим доступа: <https://patseer.com/>, дата обращения 15.11.2017.

<sup>2</sup> Перечень организаций включает: Европейское патентное ведомство (European Patent Office, EPO), Всемирную организацию интеллектуальной собственности (World Intellectual Property Organization, WIPO), патентные ведомства США, Японии, Китая, Республики Корея, Канады, Германии, Франции, Великобритании, Испании, Австралии, Индии, Швейцарии, Австрии, Бразилии, Таиланда, Российской Федерации, Филиппин, Швеции, Норвегии, Дании, Финляндии, Бельгии, Нидерландов, Люксембурга, Мексики.

<sup>3</sup> Режим доступа: <https://www.patentinsightpro.com/>, дата обращения 15.11.2015.

Табл. 1. Первичный патентный поиск

Запрос	Название + аннотация	Название + аннотация + объем патентной защиты	Число патентов
Additive manufacturing	×	—	960
Additive manufacturing	—	×	1558
Additive manufacturing AND Medical devices	—	×	17
Additive manufacturing AND (Medical devices OR Prostheses OR Orthoses)	—	×	41
(Additive manufacturing OR 3D printing) AND (Medical devices OR Prostheses OR Orthoses)	—	×	86

Источник: составлено авторами.

лось, что упомянутые в них ключевые слова индексируются для разных терминов, и результаты поиска включают все патенты, связанные с технологией 3D-печати. Использовались также булевы операторы OR, AND, NOT и символ «звездочка» (\*) для охвата всех слов с общим корнем, но разными окончаниями. Установлено, что главные изобретения в рассматриваемой области появляются с 2005 г. В связи с этим на следующем этапе анализа (стадия В) хронологические

рамки ограничились десятилетним периодом, а параметры поиска скорректированы соответственно описаниям запроса № 6. Запрос № 7 применялся для получения информации о технологическом уровне АПТ. Обращение к запросам № 8–9 позволило сузить результаты до терминологии медицинских приложений. На стадии С выявлялись материалы, задействованные в АПТ. Пример поиска на основе терминов *plast*\* и *polym*\* отражен в запросе № 10 (см. табл. 2).

Табл. 2. Алгоритм корректировки поисковых запросов

№ запроса	Поля записи в базе данных	Формула запроса
<b>Стадия А. Формирование первичных запросов (даты публикации патентов: 01.01.1700–15.04.2015)</b>		
1	Название, аннотация, объем патентной защиты	additive manufacturing
2	Название, аннотация	additive manufacturing
3	Название, аннотация, объем патентной защиты	additive manufacturing AND medical devices
4	Название, аннотация, объем патентной защиты	additive manufacturing AND (medical devices OR prosthesis OR orthosis)
5	Название, аннотация, объем патентной защиты	(additive manufacturing OR 3D printing) AND (medical devices OR prosthesis OR orthosis)
<b>Стадия В. Поиск за десятилетний период (даты публикации патентов: 01.01.2005–15.04.2015)</b>		
6	Название, аннотация	(additive manuf* OR (3D manuf* OR 3-dimension* OR 3 dimension*) OR (3D print* OR 3-D print* OR 3 print*))
7	Название, аннотация	((am OR “additive manufacturing” OR additive manufac*) OR (3D manufac* OR 3-dimension* OR 3 dimension*) OR (3D print* OR 3-D print* OR 3 print*) OR (3D bioprint* OR 3-D bioprint* OR 3 bioprint*))
8	Название, аннотация	((((am OR “additive manufacturing” OR additive manufac*) OR (3D manufac* OR 3-dimension* OR 3 dimension*) OR (3D print* OR 3-D print* OR 3 print*) OR (3D bioprint* OR 3-D bioprint* OR 3D bioprint*)) AND (medical device* OR prosthe* OR orth*))
9	Название, аннотация	((((am OR “additive manufacturing” OR additive manufac*) OR (3D manufac* OR 3-dimension* OR 3 dimension*) OR (3D print* OR 3-D print* OR 3 print*) OR (3D bioprint* OR 3-D bioprint* OR 3 bioprint*)) AND (medical device* OR prosthe* OR orth* AND (polym*)))
<b>Стадия С. Поиск с использованием комбинаций терминов для выявления материалов (даты публикации патентов: 01.01.2005 — 15.04.2015)</b>		
10	Название и аннотация	((((am OR “additive manufacturing” OR additive manufac*) OR (3D manufac* OR 3-dimension* OR 3 dimension*) OR (3D print* OR 3-D print* OR 3 print*) OR (3D bioprint* OR 3-D bioprint* OR 3D bioprint*)) AND (medical device* OR prosthe* OR orth* OR implant*) AND (plast* OR polym*))
<b>Стадия D. Заключительный поиск (даты публикации патентов: 01.01.2005 — 15.04.2015)</b>		
11	Название, аннотация, объем патентной защиты	((((am OR “additive manufacturing” OR additive manufac*) OR (3D manufac* OR 3-dimension* OR 3 dimension*) OR (3D print* OR 3-D print* OR 3 print*) OR (3D bioprint* OR 3-D bioprint* OR 3 bioprint*)) AND ((medical device* OR prosthe* OR orth* OR implan*)) AND (medical application terms) AND (material terms)
12	Название, аннотация, объем патентной защиты	((additive manuf* OR (3D manuf* OR 3-dimension* OR 3 dimension*) OR (3D printing OR 3-D print* OR 3 print*)) wd2 (medical devices OR prosthe* OR orth*) AND NOT (veterinary OR animal* OR pets)

Источник: составлено авторами.

### Бокс 1. Термины для обозначения материалов

- RTV-силикон
- АБС-пластик
- Алкид
- Алюминий
- Глина
- Каучук
- Меламин
- Метакрил
- Нейлон
- Нержавеющая сталь
- Никель
- Палладий
- Пластик
- Полиамид
- Полиамидимид
- Поливинилиденхлорид
- Поливинилхлорид
- Поликарбонат
- Полимолочная кислота
- Полиолефин
- Полипарафенилен-терефталамид
- Полипропилен
- Полифенилсульфон
- Полиэтилен
- Полиэтилен высокой плотности
- Полиэтилентерефталат
- Полиэфиримид
- Полиэфирэфиркетон (PEEK)
- Серебро
- Сталь
- Стекловолокно
- Термопластик
- Терморективная смола
- Титан
- Углеродное волокно
- Фенол
- Фуран
- Эластомеры
- Эпоксидная смола

Источник: составлено авторами.

Наконец, на стадии D для оценки применения АПТ в протезировании человеческих органов и соответствующих материалов было выполнено около 200 поисковых запросов. Сведения о материалах извлекались с применением терминов, перечисленных в боксе 1.

Всего выявлено около 40 материалов, по которым установлена связь с медицинской терминологией. Дополнение патентного анализа экспертной оценкой позволило установить основные области использования АПТ в медицине. Наивысшая патентная активность наблюдается в области зубного протезирования, шунтирования сосудов и протезирования сухожилий. Каждое из этих направлений детально анализировалось посредством поисковых терминов, отраженных в запросе № 11 табл. 2.

### Результаты

По запросу с ключевыми словами «аддитивные производственные технологии» обнаружены 1558 патентов за период с 01.01.1700 по 15.04.2015 г. (поиск осуществлялся по названию, аннотации и объему патентной защиты). В результате сканирования только по названию и аннотации были найдены 960 патентов. За счет корректировки поискового запроса (добавлен термин «медицинские устройства») число патентов сократилось до 17. Добавление к запросу булевых операторов (см. табл. 1, 2) и поиск инноваций в области медицинских устройств, протезов или ортезов в сочетании с «аддитивными производственными технологиями» привели к выдаче сведений по 41 патенту. Пополнение предыдущего запроса ключевыми словами «3D-печать» обнаружило 86 патентов (см. табл. 1). Несмотря на ограничение диапазона поиска терминами, относящимся к медицинским устройствам, в результаты выдачи периодически попадали определения из сферы ветеринарии. Ввиду несоответствия предмету исследования они были исключены, что позволило сформулировать запрос точнее (строка № 12 в табл. 2). Таким образом, отсеялись патенты с терминами из области ветеринарии и с упоминаниями животных, в том числе домашних. Дополнительно

использовался оператор близости «wd2». Он ограничил пространство поиска терминами из области АПТ или 3D-печати, которые отделены от словосочетаний, обозначающих медицинские устройства, расстоянием не более чем в два слова. По этому запросу за указанный период (с 01.01.2005 по 15.04.2015 г.) обнаружены 115 патентов; из них девять зарегистрированы в 2005 г., а 20 — в 2014 г. Патентов, опубликованных в первые месяцы 2015 г. (вошедших в хронологические рамки анализа), которые удовлетворяли бы данным критериям, найдено не было.

Постепенно к поисковым запросам добавлялись новые термины, а хронологические рамки корректировались. Обработка запроса № 6 (общий поиск по термину «аддитивные производственные технологии») по временному интервалу 01.01.2005–15.04.2015 г. выдала 15 521 патент. Запрос № 7, основанный на том же термине, пополнился дополнительными поисковыми определениями и охватил два периода: 01.01.2005–15.04.2015 г. и 01.01.2010–15.04.2015 г. За первый из них обнаружили 22 763 патента, за второй — 11 975 (рис. 1).

В запрос № 8 включены термины, связанные с технологиями и медицинскими сферами применения для обозначенных временных промежутков. Выявлены 379 патентов, зарегистрированных между 01.01.2005 г. и 15.04.2015 г., а также 198 патентов, опубликованных в интервале от 01.01.2010 г. до 15.04.2015 г. (рис. 2).

Следующим шагом стало включение в запрос поисковых терминов для идентификации материалов. Запрос № 9 дополнен термином poly\*<sup>\*</sup>; аналогичным образом использовались термины для всех материалов, указанных в табл. 3. Соответствующее сканирование обнаружило 24 патента, изданных между 01.01.2005 г. и 15.04.2015 г., из них 17 относятся к интервалу 01.01.2010–15.04.2015 г. (рис. 3).

По основным сферам медицинского применения АПТ — зубное протезирование, шунтирование сосудов и протезирование сухожилий — проводился детальный анализ. Каждый из соответствующих по-

**Рис. 1. Результаты поиска по категории «Технологии»**



Примечание: в этом и двух последующих рисунках показаны результаты поиска по патентам, опубликованным в периоды 01.01.2005–15.04.2015 г. и 01.01.2010–15.04.2015 г.

Источник: составлено авторами.

**Рис. 2. Результаты поиска по комбинации категорий «Технологии» и «Медицинские приложения»**



Источник: составлено авторами.

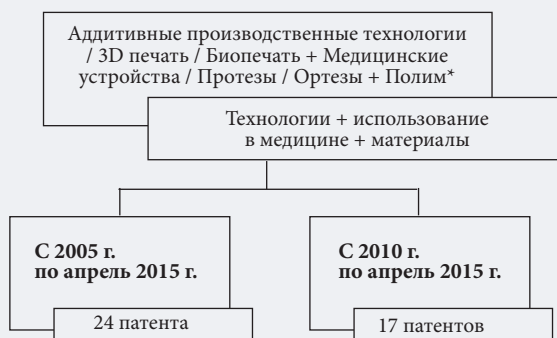
исковых терминов использовался в сочетании с ключевыми словами для материалов, указанных в табл. 3. Сканирование выполнялось для того же периода, т. е. с 01.01.2005 г. по 15.04.2015 г. Поиск, задействовавший 120 запросов с содержанием указанных комбинаций терминов, выявил 1479 патентов, из которых исключались не относящиеся к теме исследования. В итоговую выборку вошли 126 патентов на АПТ для зубного протезирования, 108 — для протезирования сухожилий, 23 — для шунтирования сосудов.

Максимальная патентная активность в обозначенный десятилетний период отмечалась в зубном протезировании (126 патентов). Дополнительный патентный анализ выявил типичные для него материалы общим числом 23, из которых 15, встречающихся наиболее часто, представлены в табл. 3. Лишь четыре из них упоминались в более чем 10 патентах. Самыми востребованными материалами для зубного протези-

рования оказались керамика (24 патента), титан (20), воск (16) и пластик (12 патентов). На рис. 4 показана динамика патентования в сфере зубного протезирования с 01.01.2005 г. по 15.04.2015 г. Притом что эта область отличается наивысшей патентной активностью, какой-либо доминирующей тенденции не наблюдается. Для определения среднегодового числа патентов период исследования поделен на две части: 2005–2010 и 2012–2014 гг. (максимальное количество патентов (23) было выдано в 2011 г.). Установлено, что в первом из упомянутых временных промежутков в среднем выдавалось по 10 патентов в год, во втором — по 14,3.

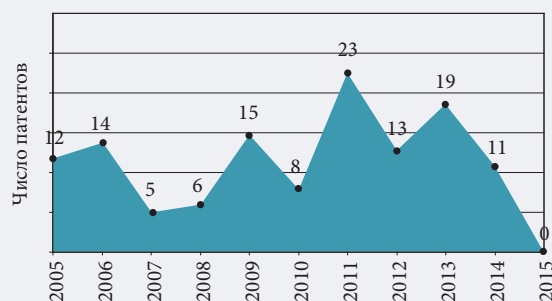
Следующей по распространенности область медицинских АПТ после зубного протезирования оказалось протезирование сухожилий (108 патентов). Здесь применяется более широкий спектр материалов (выявлено 34). В табл. 4 представлены 15 самых по-

**Рис. 3. Результаты поиска по комбинации категорий «Технологии», «Медицинские приложения» и «Материалы»**



Источник: составлено авторами.

**Рис. 4. Результаты поиска по комбинации категорий «Технологии», «Медицинские приложения» и «Материалы»**



Примечание: на этом и двух последующих рисунках показаны результаты поиска по патентам, опубликованным в период с 01.01.2005 г. по 15.04.2015 г.

Источник: составлено авторами.

Табл. 3. Материалы, востребованные в области зубного протезирования с использованием АПТ

Материал	Число патентов
Керамика	24
Титан	20
Воск	16
Пластик	12
Сталь	9
Никель	5
Полиэфирэфиркетон (РЕЕК)	5
Нержавеющая сталь	4
Термопластик	4
Полиэтилен	3
Серебро	2
Алкид	1
Эпоксидная смола	1
Меламин	1
Нейлон	1

Источник: составлено авторами.

пулярных; первые три позиции принадлежат соответственно полиэтилену (46 патентов), пластику (37) и полипропилену (20 патентов). В 2005–2014 гг. уровень патентной активности в протезировании сухожилий оставался стабильным (рис. 5). Среднегодовое число патентов рассчитывалось для двух периодов: до 2012 г., на который пришлось максимальное количество выданных патентов, данный показатель составлял 8,8, в 2013–2014 гг. он вырос до 11,5. В течение 2015 г. (до 15.04.2015 г., даты окончания поиска) какой-либо патентной активности не зафиксировано.

Табл. 5. Материалы, востребованные в области шунтирования сосудов с использованием АПТ

Материал	Число патентов
Полиэтилен	10
Пластик	8
Фуран	6
Нейлон	4
Полиамид	4
Полимолочная кислота	4
Полипропилен	4
Воск	4
Глина	3
Эпоксидная смола	3
Бумага	3
Поликарбонат	3
Полиолефин	3
Серебро	3
Мелин	2
Метакрил	2

Источник: составлено авторами.

Табл. 4. Материалы, востребованные в области протезирования сухожилий с использованием АПТ

Материал	Число патентов
Полиэтилен	46
Пластик	37
Полипропилен	20
Воск	18
Полимолочная кислота	17
Керамика	16
Полиамид	16
Титан	15
Сталь	14
Термопластик	14
Фуран	12
Нейлон	11
Глина	10
Бумага	10
Поливинилхлорид	10

Источник: составлено авторами.

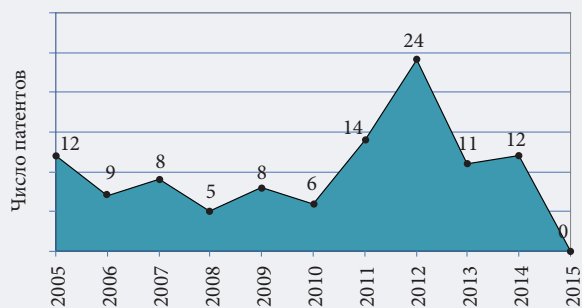
Третье место по числу патентов на АПТ занимает шунтирование сосудов (23 патента, 32 материала). В табл. 5 представлены 16 самых распространенных материалов, из которых три указаны не менее чем в пяти патентах. Чаще всего встречается полиэтилен (10 патентов), все разновидности пластика (8) и фуран (6 патентов). На рис. 6 отображено среднегодовое количество патентов с 2005 г. по неполный 2015 г.; пик приходится на 2006 г. (6 патентов). В среднем на изобретения, используемые в области шунтирования сосудов выдают 2,3 патента в год.

На рис. 7 представлено число патентов, выданных в области протезирования зубов, сухожилий и шунтирования сосудов. Пиковые значения отмечены в 2006, 2011 и 2012 гг. Максимальное среднегодовое число патентов выявлено в области зубного протезирования (12,6 патентов), следом идут протезирование сухожилий (10,8) и шунтирование сосудов (2,3 патента).

Самым востребованным материалом для АПТ оказался пластик. На долю полиэтилена приходится соответственно 13% упоминаний в патентах, относящихся к протезированию сухожилий, 11% — шунтированию сосудов и 2,5% — зубному протезированию.

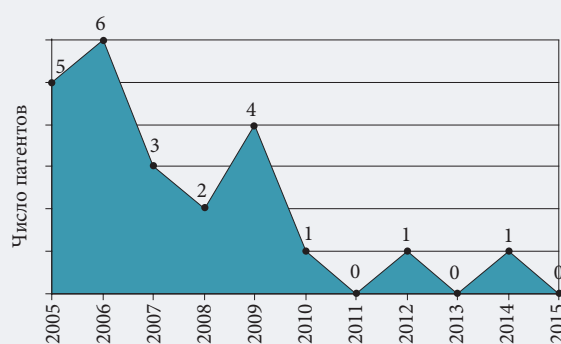
В изготовлении зубных протезов чаще всего используется керамика (20% патентов). В протезировании сухожилий ее доля составляет 4%, а в области шунтирования сосудов — всего 1%. В сравнении с пластиком металлы значительно реже задействованы в медицинских АПТ. Тем не менее титан — второй по значимости материал в зубном протезировании (17% патентов). В протезировании сухожилий его доля составляет 4%, а в шунтировании сосудов — 2%. В рейтинге распространенности металлических материалов за титаном следует нержавеющая сталь. Доля ее упоминаний в патентах по протезированию зубов и сухожилий составляет по 3%, а в шунтировании сосудов — 2%.

Рис. 5. Патентная активность в области протезирования сухожилий



Источник: составлено авторами.

Рис. 6. Патентная активность в области шунтирования сосудов

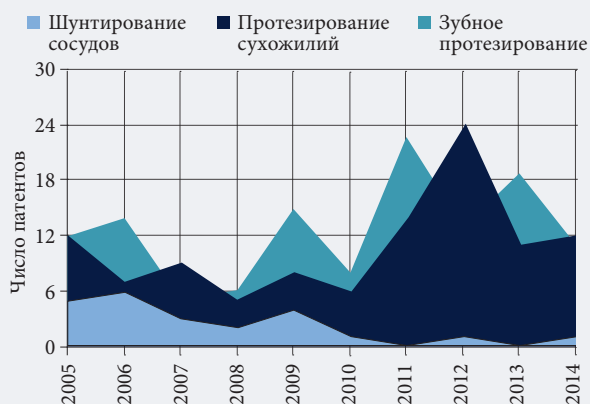


Источник: составлено авторами.

## Заключение

Представленное в статье исследование выявило наиболее распространенные случаи применения АПТ в здравоохранении и востребованные в этих целях материалы. Для его проведения выполнялись патентный анализ и экспертная оценка. Подобная методология применима к широкому спектру дисциплин. Глобальные тенденции и стратегии основных игроков в сфере АПТ уже получили достаточное освещение в научной литературе. Однако патентная активность в важнейших областях применения и самые востребованные материалы в сфере здравоохранения остаются малоизученными, несмотря на значимость их учета в стратегическом планировании ИиР.

Рис. 7. Патентная активность в области протезирования зубов, сухожилий и шунтирования сосудов



Примечание: приведены результаты поиска по патентам, опубликованным в период с 01.01.2005 г. по 31.12.2014 г.

Источник: составлено авторами.

Нами установлены три основные области применения АПТ в медицине: зубное протезирование, шунтирование сосудов и протезирование сухожилий. На протяжении анализируемого периода отмечались незначительные колебания патентной активности, но в целом за период 2011–2014 гг. выявлен рост среднегодового количества патентов в области протезирования зубов и сухожилий.

Полученные выводы согласуются с результатами других исследований, посвященных использованию материалов [Wohlers et al., 2016], в частности, констатирующих преобладание пластика над металлами. Последние применяются ограниченно. Особенно востребованы титан и нержавеющая сталь, из которых изготавливают челюстные импланты, бедренные, коленные и плечевые протезы. Производить из них персонализированные изделия с помощью традиционных производственных технологий сложно, в результате такая продукция остается весьма дорогостоящей. Задействование АПТ в ее изготовлении позволит снизить материальные и временные затраты, что открывает возможности для наращивания производства.

Поисковые запросы формировались в ходе длительного ручного итеративного процесса, включая проверку полученной информации и ее дополнительную экспертную валидацию. Автоматизация этого процесса позволит сократить время поиска данных. Представленная методология позволяет идентифицировать перспективные направления исследований во многих других областях.

Исследование профинансировано за счет средств Школы технических и естественных наук (Escuela de Ingeniería y Ciencias) при Технологическом институте Монтеррея (Tecnológico de Monterrey), а также стипендии, выделенной Национальным советом по науке и технологиям Мексики (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Mexico), CONACYT). Финансирующие организации не принимали участия в подготовке исследования, сборе и анализе данных, в принятии решения о публикации полученных результатов и в подготовке статьи.



## Библиография

- Abercrombie R.K., Udoyop A.W., Schlicher B.G. (2012) A study of scientometric methods to identify emerging technologies via modelling of milestones // *Scientometrics*. Vol. 91. № 2. P. 327–342. DOI:10.1007/s11192-011-0614-4.
- Altuntas S., Dereli T., Kusiak A. (2015) Forecasting technology success based on patent data // *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 96. P. 202–214.
- Álvarez K., Nakajima H. (2009) Metallic scaffolds for bone regeneration // *Materials*. Vol. 2. № 3. P. 790–832. DOI:10.3390/ma2030790.
- Archibugi D., Pianta M. (1996) Measuring technological change through patents and innovation surveys // *Technovation*. Vol. 16. № 9. P. 451–468. DOI:10.1016/0166-4972(96)00031-4.
- Attar R., Fraenkel A.S. (1997) Local feedback in full-text retrieval systems // *Journal of the Association for Computing Machinery*. Vol. 24. № 3. P. 397–417.
- Banks J. (2013) Adding Value in Additive Manufacturing // *IEEE Pulse*. Vol. 4. № 6. P. 22–26. DOI:10.1109/mpul.2013.2279617.
- Bonino D., Ciarabella A., Corno F. (2010) Review of the state-of-the-art in patent information and forthcoming evolutions in intelligent patent informatics // *World Patent Information*. Vol. 32. № 1. P. 30–38. DOI:10.1016/j.wpi.2009.05.008.
- Chang S.W.C., Trappey C.V., Trappey A.J.C., Wu S.C. (2014) Forecasting dental implant technologies using patent analysis. Paper presented at the Portland International Conference on Management of Engineering & Technology (PICMET 2014), 27–31 July 2014, Kanazawa, Japan.
- Dehghani M., Dangelico R.M. (2017) Smart wearable technologies: Current status and market orientation through a patent analysis. Paper presented at the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2017), 22–25 March 2017, Toronto, ON, Canada.
- Fabry B., Ernst H., Langholz J., Köster M. (2006) Patent portfolio analysis as a useful tool for identifying R&D and business opportunities—an empirical application in the nutrition and health industry // *World Patent Information*. Vol. 28. № 3. P. 215–225. DOI:10.1016/j.wpi.2005.10.004.
- Fujii A. (2007) Enhancing patent retrieval by citation analysis // *Proceedings of the 30th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR '07)*. New York: ACM. P. 793–794.
- Hornick J. (2016) 3D Printing in Healthcare // *Journal of 3D Printing in Medicine*. Vol. 1. № 1. P. 13–17.
- Okamoto M., Shan Z., Orihara R. (2017) Applying Information Extraction for Patent Structure Analysis // *Proceedings of the 40th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR '17)*. New York: ACM. P. 989–992. DOI: 10.1145/3077136.3080698.
- Rodríguez M., Cruz P., Avila A., Olivares E., Arellano B. (2014) Strategic Foresight: Determining Patent Trends in Additive Manufacturing // *Journal of Intelligence Studies in Business*. Vol. 4. № 3. P. 42–62.
- Schubert C., van Langeveld M.C., Donoso L.A. (2014) Innovations in 3D printing: A 3D overview from optics to organs // *The British Journal of Ophthalmology*. Vol. 98. № 2. P. 159–161. DOI:10.1136/bjophthalmol-2013-304446.
- Trappey A.J.C., Tung J.T.C., Trappey C., Wang T.M., Tang M.Y.L. (2015) Computer supported ontology-based patent analysis considering business processes and strategic patent portfolio management // *Proceedings of the 19th IEEE International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), Calabria, 2015* / Eds. G. Fortino, W. Shen, J.-P. Barthès, J. Luo, W. Li, S. Ochoa, M.-H. Abel, A. Guerrieri, M. Ramos. Danvers, MA: IEEE. P. 528–533. DOI: 10.1109/CSCWD.2015.7231015.
- Ventola C.L. (2014) Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses // *P&T: A Peer-reviewed Journal for Formulary Management*. Vol. 39. № 10. P. 704–711. DOI:10.1016/j.insof.2008.09.005.
- Wohlers T.T., Campbell R.I., Caffrey T. (2016) Wohlers Report 2016: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report. OakRidge, CO: Wohlers Associates.
- Zhang L., Li L., Li T. (2015) Patent Mining: A Survey // *SIGKDD Explorations Newsletter*. Vol. 16. № 2 (May 2015). P. 1–19. DOI=http://dx.doi.org/10.1145/2783702.2783704.