СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

КОЛЛЕКТИВНАЯ МОНОГРАФИЯ

www.scipro.ru

НАУЧНАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ НАУКА

Современные исследования в области технических и физико-математических наук

Монография

www.scipro.ru
Нижний Новгород, 2023

УДК 62
ББК 30
С56

Главный редактор: Краснова Наталья Александровна – кандидат экономических наук, доцент, руководитель НОО «Профессиональная наука»

Технический редактор: Канаева Ю.О.

Рецензенты:
Сагитов Рамиль Фаргатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург

Авторы:

Аветисян Т.В., Бровченко А.А., Бровченко О.А., Белов П.С., Драгина О.Г., Львович Я.Е., Никифоров В.Ю., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П.

Современные исследования в области технических и физико-математических наук [Электронный ресурс]: монография. – Эл. изд. - Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf: 47 с.). - Нижний Новгород: НОО "Профессиональная наука", 2023. – Режим доступа: http://scipro.ru/conf/monograph_100323.pdf. Сист. требования: Adobe Reader; экран 10'. DOI 10.54092/ 978-5-907607-22-4

ISBN 978-5-907607-22-4

Материалы монографии будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам предприятий, а также студентам, магистрантам и аспирантам.

При верстке электронной книги использованы материалы с ресурсов: Designed by Freepik, Canva.

ISBN 978-5-907607-22-4
9 785907 607224

© Авторский коллектив, 2023 г.

© Издательство НОО Профессиональная наука, 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 5
Глава 1. Анализ характеристик рекомендательных систем 7
Глава 2. Аддитивные технологии в машиностроении 20
Заключение 39
Библиографический список 40
Сведения об авторах 45

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Введение

В монографии представлены теоретические подходы и концепции, аналитические обзоры, практические решения в конкретных сферах науки и образования.

Монография состоит из 2-х глав.

В первой главе отмечается актуальность использования цифровых технологий при обработке различных видов информации. В работе рассмотрены основные характеристики рекомендательных систем. Это связано с тем, что они активным образом применяются при борьбе за потребителей. То есть, требуется знать, что на настоящий момент востребовано среди покупателей. Обращается внимание на осуществление статистического анализа по тем интернет-страницам, которые были посещены потребителями. Необходимо обеспечивать условия для облегчения поиска требуемой информации. Необходимо учитывать в алгоритмах поиска те действия, который пользователь осуществлял при обработке информации. Важно принимать во внимание, что пользователи не во всех случаях обладают необходимым опытом отбора требуемой для них информации. Если развиваются рекомендательные системы, то требуется опираться на мультидисциплинарный подход. Выделены четыре типа рекомендательных систем, описаны их характеристики. Рассмотрены несколько подходов, связанных с фильтрацией информации. Показана необходимость разработки специальных методов обработки информации. Рассмотрена формализация задачи формирования рекомендаций. Обсуждаются главные компоненты, которые входят в состав рекомендательных систем. Приведен пример использования рекомендательных систем для процесса отбора фильмов для просмотра.

Во второй главе приведена статистика актуальности аддитивных технологий для каждой страны, объём эксплуатации данной технологии в различных сферах жизни. Также, опираясь на ASTM– и Pham – классификации, было предложено собственное разделение видов производства деталей путём 3D-печати. В завершении было проанализировано влияние 3D-печати на окружающую среду и проводилось сравнение ее с существующими методами производства, основанными на критических сопутствующих параметрах. Важным рассматриваемым параметром является энергия всего процесса, воздействие на глобальное

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

потепление, пресную и морскую воду, токсичность для суши и подкисление. Исследование поможет исследователям определить устойчивость печатных технологий АМ.

Авторский коллектив:

Глава 1. Анализ характеристик рекомендательных систем (Аветисян Т.В., Львович И. Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П.)

Глава 2. Аддитивные технологии в машиностроении (Бровченко А.А., Бровченко О.А., Белов П.С., Драгина О.Г., Никифоров В.Ю.)

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Глава 1. Анализ характеристик рекомендательных систем

Переход от бумажных носителей информации к цифровым, вызванный повсеместным использованием информационных и телекоммуникационных технологий, открывает перспективы для работы с постоянно возрастающим объемом информации и возможностью извлечения знаний из слабоструктурированного массива данных. Несмотря на относительно небольшой срок активного применения в промышленности цифровых носителей, объем данных на них растет год от года в геометрической прогрессии, что является следствием преобразования и перевода данных из различных областей жизнедеятельности человека в цифровой вид.

К 2016 году накопленное количество данных оценивалось в 16 зеттабайт, но по прогнозам аналитической компании IDC к 2025 году объем всех данных достигнет отметки в 163 зеттабайт[1]. В связи с этим на первый план выходят способы хранения, обработки, поиска и извлечения знаний из данных. Эта технология получила название сквозной цифровой технологии «Большие данные».

К 2024 году государство намерено осуществить комплексную цифровую трансформацию экономики и социальной сферы России. Направление по обработке «больших данных» входит в зону ответственности ГК «Росатом», где в рамках создания цифровой платформы «Распределенная среда обработки больших данных» предусмотрены работы по развитию компонентов систем поддержки принятия решений, программных интерфейсов доступа к данным и др.

Проведем анализ характеристик существующих рекомендательных систем.

В наше время очень сильно обострилась конкуренция за покупателя по всем экономическим областям, и главный акцент делается на персональном предложении и прогнозах потребностей потребителя. Из продавцов, которые способны наиболее точно уловить потребности покупателя, будут иметь несомненное конкурентное преимущество перед другими.

Вследствие развития новейших технологических решений, меняется поведение конечных потребителей, и коммуникативные методы, которые строятся совершенно другим способом. Общая направленность на

[1]Преображенский Ю.П., Паневин Р.Ю. ФОРМУЛИРОВКА И КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т. 6. № 5. С. 99-102.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

использование информации в электронном виде, свидетельствует о массовом отказе всего мира от бумажных носителей данных.

Данная приоритетность основывается на собранных статистических данных – число страниц, которые были индексированы главными системами поиска в Интернете, составило более трех миллиардов. При дальнейшем развитии технологий, пользователю становится более сложно найти необходимые ему данные. Кроме того, очень сложно искать необходимые данные, используя массивы научного, а также аналитического характера, поскольку в них основной упор делается на качество ресурсной базы.

В данный момент можно говорить об отсутствии необходимой инфраструктуры, позволяющей осуществить быстрый поиск нужных данных, а также наблюдать за появлением новых источников.

Чтобы следить за существующими тенденциями и новыми исследованиями, необходимы значительные трудозатраты, вместе с большим количеством времени, что вызывает серьезные трудности. Т.е системы информации, которые сейчас работают, содержат определенные механизмы позволяющие сделать поиск легче, однако у них присутствуют довольно сильные ограничения: фильтр, использующий атрибуты, при подписке на кого-либо позволяет получить исключительно статьи или тезисную информацию.

Когда пользователь создает рекомендации, то он, как правило, применяет довольно простые показатели – механизмы статистики, которые показывают на общую направленность: наиболее читаемая и обсуждаемая информация, наиболее посещаемые страницы и прочее, что явно приводит пользователя на определенную тему.

Также то, что пользователь производил поиск какой-то информации, прочитал статью, производил выделение и копирование ее части, затратил определенное количество времени на нее, то есть производил неявные действия при обработке информации, почти не подвергается никакой обработке и применению.

Всё вышеописанное говорит о том, что существует потребность в качественном, а также быстром поиске специальной информации, и поэтому особо актуальными представляются ИС (информационные системы), которые реализуются в SmartAdvisors и PerspectiveAnalytics (представляющее модификацию SocialAnalytics).

Важной проблемой, при поиске пользователем данных, считается недостаток его знаний о той области, в которой он осуществляет поиск, и то, что он не всегда представляет, чем на самом деле является объект его интереса или же документ. Также он не всегда знает ключевые фразы,

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

используемые как основные, в определенной сфере. В качестве основной проблемы поиска информации, выступает правильное представление того, чего хочет потребитель, соответственно для этого необходимо увеличить пертинентность при осуществлении поиска. Наиболее приоритетной сферой, где можно внедрить способы, позволяющие увеличить пертинентность, а также решения технического и программного характера, считаются системы, проводящие аналитику с выдачей рекомендаций.

Рекомендательной системой (далее РС), называют системы, в задачу которых входит поиск того, что предпочитают и чем интересуются пользователи на основе просмотренных ими сайтов. Также эти системы впоследствии создают предложения по самым интересным, а также релевантным объектам, которые пользователь раньше не просматривал. РС пытаются подстроиться под потребности, которые имеет пользователь, и делают попытки дать по ним прогноз, опираясь на пользовательский профиль. Созданные таким образом рекомендательные представления, дают возможность пользователю решить, к примеру, что именно стоит прочесть или посмотреть[2].

Развивать РС можно, если основываться исключительно на мультидисциплинарном подходе, при котором осуществляется совмещение интеллектуального анализа информации, теории по принятию решений, методик по статистической обработке информации, маркетинговых действий, теории, описывающей то, как ведет себя потребитель, экспертных систем и прочее. Последующие рекомендации создаются, основываясь исключительно на информации, которую предоставил пользователь или же объект, и всю информацию можно разделить по таким видам как: в виде объектов; в виде пользователей; в виде транзакций (действия пользователей по отношению к объекту).

Обычно в любой сфере, или же предметной области, пользователь совершает определенные действия, в отношении определенного объекта, что ведет к созданию транзакций. С учетом того, какой является область, у любого ее объекта могут существовать свои уникальные признаки. Также, в любой области пользовательские данные могут также характеризоваться разными признаками, например, пользовательская анкета может являться актуальной или же по пользователю не будет никакой информации вообще.

[2]Преображенский Ю.П. О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. В сборнике: ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ОБЩЕСТВА И ФОРМИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ЕГО СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ. Сборник научных статей 8-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 45-48

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

РС проводят сравнение информации, относящейся к одному типу, поступающей от различных пользователей, после чего формируют рекомендации для конкретного пользователя.

Формально, задача относительно рекомендаций ставится по следующему алгоритму. Есть *U,* который является множеством пользователей, также *D* являющийся множеством объектов.

Требуется нахождение функции *r*, $r: U \times D \rightarrow R$, создающую рекомендацию *R* так, что относительно всех пользователей показатель *r* от них и до объекта *i* будет максимальным, то есть будет представлять собой аргумент максимизации[3]:

$$\forall \text{ и} \in U, d_u = \arg\left(\max_{d \in D} r(u,d) \right) \quad (1)$$

Существует 4 типа РС[4,5]:

- рекомендации, которые создаются при помощи экспертного метода – объекты связываются между собой в ручном режиме, или же по ранее установленным правилам. Однако этот метод будет актуален, если объектов, которые рекомендуются, немного;
- фильтрация коллаборативного типа – является рекомендациями, основанными на выставлении оценок пользователями по тем объектам, которые они просмотрели. Они выстраиваются, основываясь на поиске похожих пользователей определенного пользователя (или user-based), или основываясь на поиске похожих объектов, осуществляя поиск объекта, которому определенный пользователь поставил раньше оценку (item-based);
- фильтрация контентного типа – является рекомендациями относительно определенного пользователя, создающиеся, с основой на тех объектах, которые ему понравились, учитывая его параметры;
- фильтрация гибридного типа – здесь совместно применяется контентная, а также коллаборативная фильтрация, и это дает возможность увеличить качество создаваемых рекомендаций.

Фильтрация контентного типа позволяет четко классифицировать пользователей вместе с объектами, которые составляют информационное предложение. При данной ситуации пользователь и объект будут прямо

[3]Преображенский Ю.П. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2009. № 5. С. 116-119.

[4]Землянухина Н.С. О ПРИМЕНЕНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕНЕДЖМЕНТЕ // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 106-107.

[5]Преображенский Ю.П. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СФЕРЕ МЕНЕДЖМЕНТА //Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 2 (25). С. 43-46.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

соответствовать друг другу, основываясь на их параметрах. Такой стратегический подход может неплохо функционировать в области, где оценка проводится с использованием небольшого числа критериев, при значительных информационных потоках с допущением большого числа критериев, если поток информации будет небольшим.

Когда осуществляется фильтрация по контенту, производится формирование пользовательских профилей, а также профилей объектов. Пользовательские профили могут состоять из демографических данных, или же ответов по каким-либо вопросам. А профиль объекта может содержать разные атрибуты присущие его определенному типу.

При фильтровании контента, выдача рекомендаций производится по объектам, которые пользователь уже избрал, и главный принцип здесь состоит в том, что пользователь выбрал какой-либо объект, тогда он должен обратить внимание на примерно такой же[6].

Фильтрование информации по контенту, с самого начала было создано для того, чтобы формировать рекомендации в виде текста, представляющие собой описание объекта при помощи специального набора термов. Чтобы создавать рекомендации по данному набору, используется отдельная метрика TF-IDF[7], позволяющая узнать, насколько важен тот или иной терм в определенном предложении. Это увеличивает ценность предложенного текста перед прочими документами.

Формально, задача для РС контентного типа ставиться по следующему алгоритму. Существуют текстовые документы *D*. Пускай $P\left(d_j\right)$ выступает в виде профиля документа $d \in D,$ являющимся признаками по представленному объекту. Любой из признаков является коэффициентом, который определяет, насколько значим терм по документу d, выведенный в соответствии с метрикой TF-IDF, с таким видом как:

[6]Преображенский Ю.П. НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ. В сборнике: ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ: ПУТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ. Сборник научных трудов 8-й Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. 2019. С. 62-64.

[7]Преображенский Ю.П. ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ. В сборнике: Актуальные проблемы развития хозяйствующих субъектов, территорий и систем регионального и муниципального управления. Материалы XIII международной научно-практической конференции. Под редакцией Ю.В. Вертаковой. 2018. С. 208-211.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

$$\overrightarrow{P}\left(d_j\right)=\left(w_{1j},w_{2j},...,w_{kj}\right), \quad (2)$$

здесь:

$P\left(d_j\right)$ – является профилем, который имеет документ, в виде вектора термов, которые были взвешены, составленного по их значениям;

d_j – является текстовым документом;

w_{kj} – является весом терма, который рассчитывается метрикой TF-IDF.

Построение рекомендации происходит, основываясь на оценке того, насколько близким является контент пользовательского профиля, а также контент объекта:

$$r\left(u,d\right)=Score\left(P\left(u\right),P\left(d\right)\right), \quad (3)$$

здесь:

r (u, d) – является мерой, определяющей близость;

P(u) – является пользовательским профилем, представляющий собой вектор термов, которые были взвешены, основываясь на тех объектах, которые просмотрел пользователь;

P(d) – является объектным профилем, в виде вектора термов, которые были взвешены по их значениям.

Методика фильтрования коллаборативного типа, сравнивает пользователей по их интересам, после чего находит пользователей, у которых интересы полностью или примерно похожи. Эта методика применяет данные, показывающие, как пользователь вел себя раньше, к примеру, какие он делал запросы, какие давал оценки и прочее.

В данной ситуации совершенно неважно, по каким объектам приходится работать, однако здесь может вестись учет неявных параметров, которые трудно учитывать тогда, когда формировался профиль. Главным недостатком этих РС является то, что нет информации о том, какие пользователи включились в систему, или же какие объекты появились в ней, поскольку нет истории.

Фильтрование по коллаборативному типу в основном делает упор на проведение анализа действий пользователя: на какие ссылки он переходил, какие оценки ставил, что отправил в закладки, использовал ли социальные кнопки. Кроме того, здесь учитываются его неявные действия: на каких

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

сайтах пользователь проводил больше времени, а где менее, анализируются его общие действия, анализируется привычное поведение и прочее[8].

Чтобы использовать такую фильтрацию, применяют матрицу оценок, где ведется учет пользовательских оценок по тому объекту, который он просмотрел.

$$V = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 5 & 1 \\ 3 & 5 & 4 & 0 \\ 5 & 2 & 0 & 5 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Чтобы определить, насколько схожи пользователи, рассчитывается близость векторов по пользовательским оценкам, что исполняется расчетом косинуса по векторам, соответствующим друг другу[9]:

$$sim(x, y) = \frac{\sum_{d=1}^{m} v_{x.d} \cdot v_{y,d}}{\sqrt{\sum_{d=1}^{m} v_{x.d}} \cdot \sqrt{\sum_{d=1}^{m} v_{x.d} \cdot v_{y,d}}}, \quad (5)$$

здесь:

sim(x,y) – является мерой, которая определяет близость пользователей x, а также y;

$v_{x.d}, v_{y,d}$ – является оценкой, выставленной пользователями x, а также y, относительно объекта d, состоящего в матрице V.

Также существуют подходы смешанного (гибридного) типа, по которым производится разработка РС. Гибридным подходом называют соединение фильтрования коллаборативного, а также контентного типа, это дает возможность увеличить уровень эффективности РС, то есть сделать прогнозы более точными для определенных пользователей[10].

Цель всех РС – это выдача рекомендации по какому-либо объекту, с которым пользователь раньше не сталкивался, но который мог бы быть ему полезен или же интересен на основании его интересов (рисунок 1). Говоря по-другому, при помощи РС находится тот объект, который вызывает интерес у определенного пользователя на данный момент времени.

---

[8]Ряжских А.М., Преображенский Ю.П. ПОСТРОЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2008. № 3. С. 079-081.

[9]Максимов И.Б. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 130-135.

[10]Свиридов В.И., Чопорова Е.И., Свиридова Е.В. ЛИНГВИСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С КОМПЬЮТЕРОМ // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7. № 1 (24). С. 430-438.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

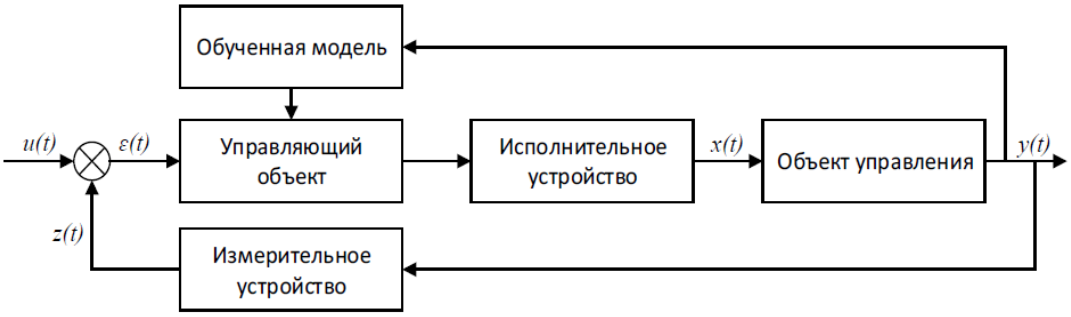

Рисунок 1 – Принцип функционирования РС

Перейдем к рассмотрению главных компонентов, которые изображены на схеме:

- В качестве управляемого объекта выступает блок, который содержит список рекомендаций, совпадающий с интересами пользователя в определенное время.

- В качестве объекта, осуществляющим управление, выступают алгоритмы, производящие классификацию, основываясь на задающем воздействии u(t), а также сигнале, который передает устройство, проводящее замеры, они могут создавать показатели с наибольшей пертинентностью.

- Модель, которая прошла обучение, состоит из представлений компонентов, а также правил, на основании которых при помощи объекта, производящего управление, будет проводиться классификация.

- Устройство исполнения является веб-сервером, он производит дополнение данными, которые содержаться в базе данных, и идентификаторами значений, которые ему присылает управляющий объект, после чего управление передается x(t).

- С помощью измерительного устройства собирается информация о том, как отреагировал пользователь на те рекомендации, которые были выданы, после чего производится их преобразование в формальные значения z(t), описывающие то, как вел себя пользователь на том или ином сайте.

В качестве выходных параметров в этой схеме выступают рекомендации, наиболее интересные пользователю, на основе его потребностей и интересов.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

РС используются в самых разных областях – в поисковых системах, соцсетях, в сайтах новостей, сайтах, посвященных электронной коммерческой деятельности, при поиске музыкальных треков, при заказе билетов, бронировании гостиниц и прочее. Итогом функционирования РС с позиции бизнеса, будет повышение уровня эффективности по целевым показателям.

В качестве таких показателей могут выступать: объем проданного товара, количество продаж, уровень дохода от проданного товара, продолжительность нахождения пользователя на какой-либо странице, уровень интереса пользователей, степень лояльность пользователя к чему-либо[11].

Как пример РС, с помощью которого можно выбрать тот или иной фильм, можно привести ресурс imdb.com, на котором пользователь может дать оценку фильму, используя десятибалльную шкалу. Для получения среднего рейтинга фильма производится агрегация оценок. Этот же ресурс содержит рекомендации, которые предназначаются определенному пользователю. Основываясь на оценках, которые поставили пользователи, рекомендуются новые фильмы. Если необходимо найти музыку, то, как пример, можно обратить внимание на ресурс last.fm. На нем выдаются рекомендации по трекам, исполнителям, их альбомам и проводимым мероприятиям.

В Соединенных Штатах, существует такой ресурс как Pandora, выступающий в качестве персонального радио, которое со временем подстраивается под пользовательский вкус, основываясь на его оценках. Самое использование РС можно наблюдать в интернет - магазинах. Например, это такие крупные площадки как Amazon.com, а также ozon.ru, на которых, основываясь на том, что приобрел пользователь, и какие товары он просмотрел, для него выдаются рекомендации.

В системе продаж, эффективность РС оценивается по таким критериям как:

- с позиции покупателя – понравились ли ему те товары, которые были рекомендованы. Метриками на это являются уровень качества аппроксимирования оценок или же CTR РС, а также доля покупателей, которые купили товар по рекомендации;

- с позиции интернет – магазинов и издания – обеспечение максимизации предполагаемых доходов от покупателя, или же максимальная глубина просмотра издания.

[11]Гостева Н.Н., Гусев А.В. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 1 (20). С. 58-60.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Главный источник информации для РС — это информационный набор по пользователям, его можно указать в самостоятельном режиме, а также он может быть собран автоматически. В соответствии с созданными рекомендациями, пользователи могут определиться с каким-либо решением – что приобрести, что послушать из музыки, что прочесть из новостей и прочее.[12]

У пользователя могут быть самые разнообразные интересы и наклонности, а данные о них можно собирать при помощи различных методов. При работе РС осуществляет сбор информации, соединяя явные, а также неявные методики. Явным методом считается формирование профиля, заполняя анкеты, проводя опросы и прочее, при этом происходит исполнение персонализации пользователя. Явным сбором информации является:

- осуществление запроса пользователю по оценке объекта при помощи дифференцированной шкалы;
- осуществление запроса пользователю по разделению объектов по рангам на основе определенного критерия;
- пользователь получает для сравнения 2 объекта, из которых ему необходимо выбрать тот, который, по его мнению, лучше;
- выдвигается предложение по формированию списка объектов, которые пользователь предпочитает более всего.

В том случае, когда пользователь не желает вносить данные сам, тогда применяется другой метод, создается профиль неявного типа, при помощи слежения и фиксирования информации о том, какие действия пользователь производил на ресурсе[13, 14]:

- производится мониторинг объектов, просмотренных пользователем;
- ведутся записи о том, как пользователь ведет себя, когда находится онлайн;
- отслеживается кэш, содержащийся в браузере у пользователя.

Рассмотрим особенности научных рекомендательных систем.

[12]Максимов И.Б.КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 127-129.

[13]Пеньков П.В. ЭКСПЕРТНЫЕ МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 108-110.

[14]Преображенский Ю.П., Коновалов В.М. О МЕТОДАХ СОЗДАНИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2019. № 4 (31). С. 75-79.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Применение РС не имеет ограничений по областям, их можно применять в самых различных сферах, например системах, которые содержат научные данные.

Научной рекомендательной системой (далее НРС) является специализированный модуль, устанавливаемый сверху системной БД, содержащей научные данные, и которая применяется отдельно от системы поиска или же выступает как дополнение к ней. Системами такого типа являются Google Scholar, Scopus, Web of Science, Mendeley, eLibrary, Cyberleninka, а также прочие. Это главные библиотеки электронного типа и БД, представленные у нас и за рубежом.

Система e-library представляет собой техническую и программную реализацию РИНЦ (российский индекс научного цитирования), в ней содержится боле чем тридцать миллионов рефератов и полных статей. Система Scopus содержит в себе около семидесяти миллионов записей. И та и другая система, постоянно применяются для того, чтобы оценить, насколько активной, а также продуктивной является научная деятельность.

Системами такой направленности пользуются ученые, педагоги, студенты и другие лица, связанные с наукой. Данные пользователи вместе с их потребностями представляют те ресурсы, по которым функционирует научная рекомендательная система: публикации научного характера, тезисная информация по конференциям, итоги научных исследований, технологические решения, патенты, разнообразные отчеты, БД, законодательная и прочая документация. В качестве главных источников научных рекомендательных систем выступают библиотеки электронного типа, веб-ресурсы, которые содержат архивы научных документов, БД научной направленности, а также прочие организации, которые работают в научной и образовательной области.

В данный момент есть определенная проблематика, которая связанна с НРС[15].

- Проблема масштабируемости – это когда многомиллионная пользовательская аудитория пользуется ресурсами исчисляемыми сотнями миллионов. В особенности остро данная проблема проявляется в системах, которые используют фильтрацию коллаборативного типа, когда уже

[15]Самойлова У.А. О НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 176-179.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

невозможно обрабатывать такой огромный объем информации в режиме реального времени.

- Проблема «Холодного старта». Проявляется в случае недостатка данных у РС при старте ее функционирования. Самые большие проблемы проявляются опять при фильтровании коллаборативного типа, поскольку нужен значительный объем данных по большому числу пользователей, для того чтобы выстроить верный прогноз. Если применяется фильтрование контента, то данная проблема не будет стоять настолько остро, поскольку уровень точности рекомендаций не будет зависеть от числа пользователей.
- Проблема нового пользователя. Ситуация при которой пользователь начинает свою работу в системе и не предоставил о себе никаких данных. Есть несколько способов позволяющих решить эту проблему, к примеру, формирование профиля по умолчанию. Однако при решении проблемы, таким образом, пользователь не будет персонализирован полностью в системе.

Решить эту проблему можно путем обязательной регистрации и осуществлением входа посредство соцсетей, куда предварительно подгружаются начальные данные пользователя.

- Проблема контекстной идентификации относительно пользователя. Функционирование РС имеет в своей основе предположение, что, работая с системой, пользователем осуществляется поиск объектов, которые представляют для него интерес. Однако это предположение не во всех случаях верно. Пользователь способен осуществлять просмотр данных или что-то искать не для себя, а для других. В этой ситуации производится смена пользовательского поведения, и его выстроенная ранее модель перестает работать.
- Небольшой размер шкалы, на которой выставляются рейтинги, тоже представляет проблему в случае накопления системой большого объема данных описывающих множество тысяч объектов. При этой ситуации стандартная оценочная шкала от единицы до пяти, перестает быть информативной, и метод дифференцирования обязан измениться. Но если шкала повыситься в размере, к примеру, от единицы до ста, то тогда пользователю не будет ясно, как друг от друга будут отличаться показатели рейтинга 54 и 55.
- Предпочтения отрицательного характера обычно описываются как ноль. Однако здесь оценивается только один из атрибутов объекта, если

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

атрибуты присутствуют в значительном числе, то этой оценкой можно пренебречь.

Точнее, учет предпочтений отрицательного характера производится весами атрибутов, однако данный способ не позволит универсально решить эту проблему, поскольку различные объекты имеют различные атрибуты. В связи с этим, создавая РС, нужно вместе с штрафными санкциями к объектам, имеющими отрицательные предпочтения, вводить методики, которые смогут измерить негативность по этим объектам.

Параметры времени. Зачастую очень трудно определить какие предпочтения есть у пользователя из-за небольшого объема обучающей информации. В случае продолжительного присутствия пользователя в системе, происходит повышение объема выборки обучения, а также уровня точности рекомендаций. Здесь проявляется еще одна проблема, выражающаяся в нестабильности пользовательских предпочтений. Что интересовало определенного пользователя пару месяцев ранее, в данный момент уже может и не интересовать. Однако уровень рейтинга по данным объектам, по оценке пользователей, также очень высок. В связи с этим нужно введение механизма позволяющего актуализировать рейтинги, учитывая его продолжительность существования и вид оцениваемых объектов. К примеру, монография или доклад будут актуальными очень долго, а, допустим, тезисное выступление очень быстро устареет.

В научных рекомендательных системах, в качестве главного объекта анализа выступают научные статьи. Основными параметрами являются текстовыми полями, с отражением ключевых слов, аннотаций и много другого. Чтобы осуществлять работу с текстовым полем, нужен соответствующий подход, по которому сначала необходимо выполнить предварительную обработку информации.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Глава 2. Аддитивные технологии в машиностроении

Введение

Аддитивные технологии получают всё более широкое распространение при изготовлении сложных изделий машиностроительного производства. Одним из материалов, которые используются при реализации аддитивных технологий являются метеллопорошки.

Поэтому основой для моей научно-исследовательской работы были выбраны аддитивные технологии. И назначена тема диссертации «Автоматизация обеспечения экологических показателей качества аддитивных технологий с использованием металлопорошка».

Несмотря на большое многообразие оборудования, на котором реализуются аддитивные технологии, все они оказывают негативное воздействие на окружающую среду и человека.

Это относится к потребляемой энергии, загрязнению воздушных и жидких сред, формированию твёрдых отходов. Кроме того негативное воздействие на окружающую среду и человека в значительной степени обусловлено и наличием электромагнитных полей, связанных с работой электроприводов, необходимостью нагрева порошка и другими факторами, необходимыми для реализации аддитивных технологий.

Особенностью аддитивных технологий является и то, что все они реализуются посредством программного продукта, который учитывает технические характеристики изготавливаемых изделий.

При этом в программном продукте никак не рассматриваются вопросы, связанные с обеспечением безопасности для окружающей среды и человека каждой конкретной реализации технологического процесса.

По этой причине работа, направленная на улучшение экологических показателей качества каждой конкретной реализации технологического процесса посредством модернизации управляющих программ, учитывающих эти показатели и применением дополнительного корректирующего оборудования является несомненно актуальной.

1. Статистика аддитивных технологий

Популярность использования аддитивных технологий неуклонно растет с каждым годом – дешевые материалы, доступное оборудование, малый цикл разработки. Сейчас 3D-принтеры используются не только для штучного производства, но также и для массового. Однако в современных реалиях необходимо учитывать влияние технологий на экологию.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Изначально при аддитивном производстве использовались полимерные материалы, или пластик, однако с развитием 3D-печати и принтеров стало возможным применять любой материал от металла до керамики. Преимуществ у данного способа производства много: разработка нового инновационного дизайна, который невозможно было осуществить при традиционном способе; экономия сырья, так как при производстве с использованием аддитивных технологий потери материала практически нет; исключение ошибок, каковы часто случаются при традиционном производстве; низкая стоимость самих материалов и оборудования по сравнению с традиционным производством[16].

Ежегодные темпы роста рынка аддитивных технологий составляют 15%. К 2025 году компания Frost & Sullivan прогнозирует увеличение объема рынка до 21 миллиарда долларов. Структура рынка по регионам показана на рис. 1.

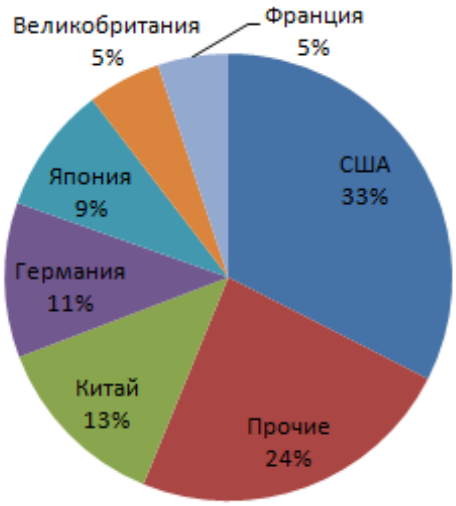

Рис. 1. Структура рынка аддитивных технологий

В 2014 году консалтинговая компания в области 3D-печати Wohlers Associates провела исследование[17] среди 111 производителей с целью узнать средний доход в процентах от использования аддитивных технологий в разных областях деятельности. Результат показан на рис. 2.

[16] Белов, П. С. Влияние параметров постобработки на шероховатость поверхности изделий, получаемых методами аддитивных технологий / П. С. Белов // Вестник МГТУ "Станкин". – 2019. – № 1(48). – С. 57-61. – EDN YJPJAB

[17] Chapter 6: Innovating Clean Energy Technologies in Advanced Manufacturing | Additive Manufacturing Technology Assessment [Электронный ресурс]: Quadrennial Technology Review 2015 // U.S. Department of Energy. 2015. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/11/f27/QTR2015-6A-Additive%20Manufacturing.pdf (дата обращения: 26.04.2022)

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Рис. 2. Области применения аддитивных технологий

Как можно заметить, аддитивные технологии приносят прибыль в таких серьезных отраслях деятельности, как аэрокосмическая и автомобильная. Дальнейшее распространение данного способа производства в этих областях не вызывает сомнений.

Применение 3D-печати в аэрокосмической промышленности особенно выгодно, так как повышается эффективность деталей вследствие исключения ошибок при производстве и их вес. Уже подсчитана большая экономия при мелкосерийном производстве деталей летательных аппаратов с помощью аддитивных технологий.

Также большую популярность аддитивное производство получило и при изготовлении прототипов и инструментальной оснастки в автомобилестроении[18]. Нельзя не упомянуть и распространение 3D-печати в медицине, где уже продолжительное время она используется для производства не только протезов, но и внутренних органов[19].

2. Виды аддитивных производств

На данном этапе развития «вычитающих» технологий, известно множество классификаций, но они не полноценно описывают все имеющиеся способы получения изделий. Целью раздела является анализ классификаций и структурирование общей схемы.

[18] Белов, П. С. Повышение качества обработки за счёт улучшения конструктивно-технологических параметров резцов : специальность 05.02.07 "Технология и оборудование механической и физико-технической обработки" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Белов Павел Сергеевич. – Москва, 2011. – 20 с. – EDN QHUWTZ.

[19] Белов, П. С. Анализ дефектов изделий, получаемых методами аддитивных технологий / П. С. Белов, С. Л. Махов // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 1(91). – С. 8-13. – EDN EGKCAO

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Производство изготовления изделий методом аддитивных технологий на данный момент широко развивается. Для систематизации видов данной отрасли в США компанией ASTM International было разработано глобальное разбиение 3D печати на следующие виды (рис.3)[20].

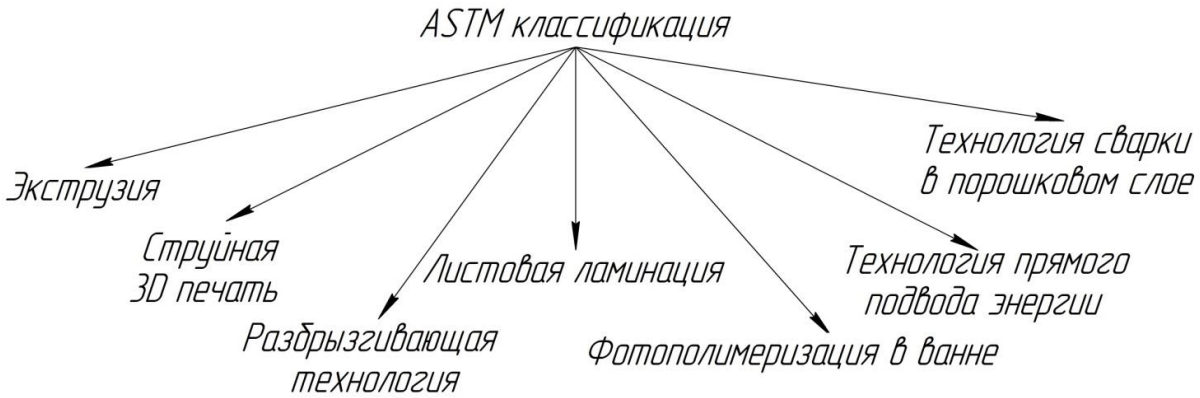

Рис.3. ASTM – классификация

Документом ASTM F2792 изучается 7 категорий аддитивных технологий, которые рассматриваются по нескольким признакам: технология, исходный материал, источник энергии и различные особенности[21] (табл. 1).

Таблица 1

Классификация аддитивных технологий согласно стандарту ASTM F2792

Группа	Технология	Исходный материал	Источник энергии	Особенности
Экструзия (Material Extrusion)	Fused Deposition Modeling (FDM)	Термопластики, керамические суспензии, металлические пасты	Термическая энергия	Невысокая стоимость установок; использование нескольких материалов; ограниченная точность; невысокое качество поверхности
	Contour Crafting			
Струйная 3D печать (Material Jetting)	Polyjet/ Inkjet Printing	Фотополимеры, воск	Термическая энергия/ фотоотверждение	Печать из различных материалов; высокое качество поверхности
Разбрызгивающая технология (Binder Jetting)	Indirect Inkjet Printing (Binder 3DP)	Полимерные порошки, керамические порошки, металлические порошки	Термическая энергия	Необходимость пропитки изделий после их построения; широкий выбор материалов; высокая пористость изделий

[20] Белов, П. С. Исследование изотропности изделий, изготовленных методами аддитивных технологий / П. С. Белов, О. Г. Драгина, Д. Ю. Никифоров // Вестник МГТУ "Станкин". – 2019. – № 4(51). – С. 47-50. – EDN LBCIVT

[21] ASTM – классификация URL: https://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/AdditiveManufacturingTerminology.pdf (дата обращения 14.10.2022)

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Группа	Технология	Исходный материал	Источник энергии	Особенности
Листовая ламинация (Sheet Lamination)	Laminated Object Manufacturing (LOM)	Металлические листы, полимерные пленки, керамические ленты	Лазерный луч	Высокое качество поверхности; необходимость удаления остатков материала
Фотополимеризация в ванне (Vat Photopolymerization)	Stereolithography (SLA)	Фотополимеры, керамики (оксиды Al, Zr, пьезокерамики)	Ультрафиолетовый лазер	Высокая скорость построения; высокая точность изготовления; высокая стоимость исходных материалов
Технология прямого подвода энергии (Directed Energy Deposition)	Laser Engineered Net Shaping (LENS) Electron Beam Welding (EBW)	Металлические порошки и проволоки	Лазерный луч, электронный луч	Возможность ремонта изделий; создание функционально-градиентных изделий; низкое качество поверхности
Технология сварки в порошковом слое (Powder Bed Fusion)	Selective Laser Sintering (SLS)	Полиамиды, полимеры	Лазерный луч	Высокая точность изготовления; высокая плотность изделий; необходимость использования поддержек
	Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	Металлические и керамические порошки		
	Selective Laser Melting (SLM)			
	Electron Beam Melting (EBM)		Электронный луч	

Комплексный метод классификации предложил и Pham, использовавший двумерную классификацию (рис. 4).

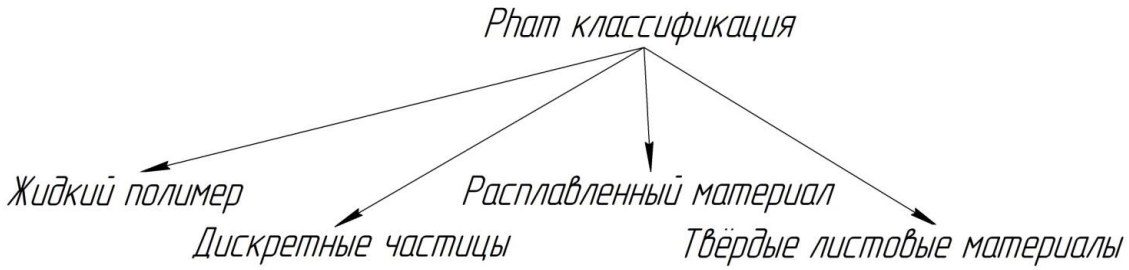

Рис.4. Pham– классификация

Pham проводит классификацию не только по вышеперечисленным параметрам, но и включает в неё одновременно используемые источники энергии, применяемые в формировании детали. Классификация согласно данным параметрам представлена ниже. На заре 3D моделирования использовался только один источник энергии, но с развитием данной технологии

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

для повышения производительности данного процесса стали применять несколько источников подачи материала в зону обработки[22].

В классификации по большему числу параметров Pham использовал четыре отдельных видов материалов (табл.2), таких как жидкий полимер, частицы порошка, расплавленный материал и ламинированные листовые материалы[23].

Таблица 2

Классификация технологий послойного синтеза, предложенная Pham

Материалы	Одномерный проход	Двухмерный проход	Массив одномерных проходов	Двумерный проход
Жидкий полимер	SLA (3D Sys)	Двойной луч SLA (3D Sys)	Object	Envisiontech MicroTEC
Дискретные частицы	SLA (3D Sys), LST (EOS), LENS, Phenix, SDM	LST (EOS)	3D печать	DPS
Расплавленный материал	FDM, Solidscape	-	TermoJet	-
Твердые листовые материалы	Solido PLT (KIRA)	-	-	-

Анализируя два выше представленных способа классифицирования методов производства изделий аддитивными технологиями, становится ясно видно, что в этих классификациях отсутствует часть разновидностей. Поэтому они не полностью отражают современную тенденцию развития «вычитающих» методов. На основании ASTM F2792- и Pham-классификаций мной было предложено следующее разделение видов производства деталей путём 3D-печати. Основными составляющими данной классификации являются два способа построения изделий: Послойный синтез (Bed Deposition) и Прямое осаждение материала (Direct Deposition). Рассмотрим их.

Во время применения послойного синтеза сначала формируется слой путём насыпания на рабочую платформу определённого количества порошкового материала и разравнивания порошка посредством ролика или «ножа». При этом должен быть сформирован слой материала определенной толщины с ровной поверхностью. Затем в образованном слое с

[22] История и классификация аддитивных технологий URL: https://extxe.com/3698/istorija-i-klassifikacija-additivnyh-tehnologij/ (дата обращения 14.10.2022)

[23] Проблемы взаимодействия человека, общества и природы: концепция устойчивого развития и ее реализация в России / П. С. Белов, А. А. Бровченко, О. А. Бровченко [и др.]. – Нижний Новгород : Профессиональная наука, 2021. – 107 с. – ISBN 978-1-312-75403-4. – EDN OZMIXI

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

использованием селективного выбора точек происходит воздействие лазером или иным объектом на поверхность сформированного слоя порошка. В этот момент частички порошка скрепляются (сплавляются или склеиваются) в соответствии с текущим сечением исходной CAD-модели, при этом часть строительного материала (в данном случае – порошка) остается в созданном слое нетронутой[24].

Расшифровывая название данной технологии (Bed Deposition), обнаруживается обязательное наличие поверхности (bed), на которой сначала формируют слой, а затем в этом слое выборочно отверждают (deposition) строительный материал. Указанной технологии достаточно точно соответствует термин «селективный синтез» или «селективное лазерное спекание» (SLS), если «отверждающим» инструментом является лазер, который здесь, в отличие от лазерной стереолитографии (SLA-технологии), применяется в качестве источника тепла, а не ультрафиолетового излучения. После завершения построения платформа-«bed» перемещается в вертикальном направлении на величину шага построения, на ней формируют новый слой – и процесс повторяется до полного построения модели[25].

Термин Direct Deposition на русский можно перевести как «прямое или непосредственное осаждение материала», т.е. направление энергии и осаждение материала в конкретную точку построения. Иными словами, в отличие от предыдущего вида построения деталей, здесь не образуется слоя строительного материала на платформе («bed»), а материал подается в конкретное место, куда в данный момент времени подводится энергия и где идет процесс формирования детали. Подобно тому, как сварщик подводит электрод к месту, где за счет электрической дуги формируется зона расплава[26] (рис.5).

При изготовлении изделий по технологиям Bed Deposition и Direct Deposition не используется такие методы фиксации слоя, как фотополимеризация «свет», сплавление «тепло» и склеивание «связывающее». Исходя из этого классификация ныне существующих методов изготовлений при помощи аддитивных технологий будет иметь вид, представленный на рис. 5.

[24] Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015 - 220 с.

[25] Результаты исследований естественных и точных наук: междисциплинарный подход и сверхаддитивный эффект : Монография / А. А. Абзалов, М. А. Асеева, М. М. Атабаев [и др.] ; Под редакцией В.В. Ерохина, Л.П. Тереховой, О.А. Подкопаева. – Самара : Общество с ограниченной ответственностью "Поволжская научная корпорация", 2018. – 261 с. – ISBN 978-5-6040572-3-0. – EDN HLDPCA

[26] Аддитивные технологии в машиностроении С. 23-24

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

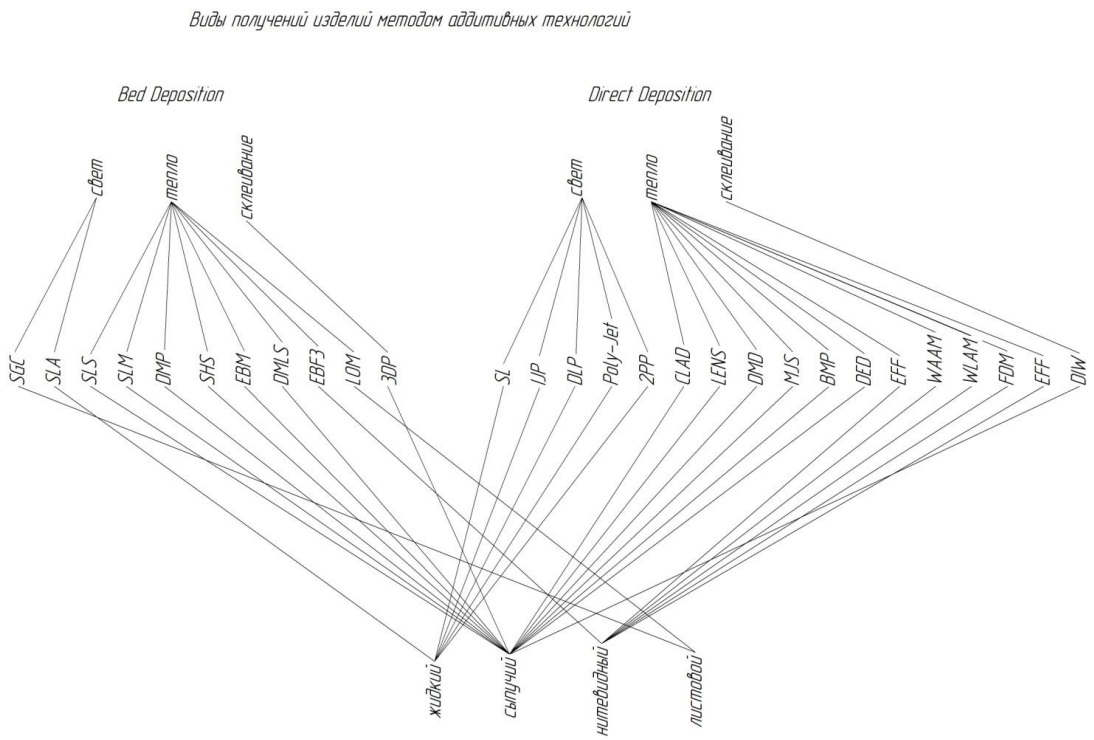

Рис. 5. Классификация аддитивных производств

3. Воздействие аддитивных производственных технологий на окружающую среду

Вся идея аддитивного производства состоит в том, чтобы использовать только тот объем материала, который необходим для формирования объекта. Единственная потеря в процессах 3D-печати — это когда в конструкцию объекта также включаются опорные конструкции. Данные опорные конструкции должны обеспечивать прочность и поддержку обширных нависающих частей. Таким образом, используя различные материалы, необходимые для продукта, аддитивные технологии могут сократить жизненный цикл массы материала и потребляемой энергии по сравнению с обычными технологиями производства, создавая гораздо больше отходов. Образующиеся отходы либо выбрасываются на свалки, либо сбрасываются в водоемы.

Использование традиционных производственных процессов приводит к загрязнению земных, водных и атмосферных систем[27]. Методы субтрактивной (отнимающей) обработки требуют, чтобы смазочно-охлаждающие жидкости использовались в качестве охлаждающих жидкостей в процессе обработки, чтобы компенсировать большое количество тепла,

[27] YC Luo, ZM Ji, Leu, et al. , Environmental performance analysis of solid freeform fabrication processes, in: The 1999 IEEE IntSymp on Electron and the Environ, NY, IEEE, 1999, pp. 1–6.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

выделяемого из-за трения между заготовкой и инструментом. Состав смазочно-охлаждающей жидкости очень сложный, и он может быть более токсичным, чем его компоненты. Они могут стать аллергенами, даже если их компоненты безопасны[28,29,30]. Эти смазочно-охлаждающие жидкости также могут выступать в качестве хранилища бактерий и грибков, таким образом, смазочно-охлаждающие жидкости представляют опасность для окружающей среды и вызывают проблемы со здоровьем[31,32,33]. Воздействие смазочно-охлаждающих жидкостей на человека изучались на протяжении многих лет, и было обнаружено, что это может привести к профессиональному раку кожи. В таблице 3 подробно описаны положительные и отрицательные воздействия 3D на окружающую среду.

Таблица 3

Внедрение технологий 3D-печати: положительное и отрицательное воздействие на окружающую среду.

Вид 3D-печати	Положительные стороны	Отрицательные стороны
EBM SLS SLM	• Конструкция может быть улучшена топологически для повышения производительности и снижения общего энергопотребления. • Отходы могут быть переработаны. Технологическое оснащение минимально.	Дополнительная энергия затрачивается на приготовление сырого порошкообразного материала. Потребление ресурсов в виде газов, таких как сжатый воздух, аргон и азот, увеличивает стоимость. Потребляют много энергии для утилизации. Он вносит значительный вклад в пресноводную, морскую и наземную экотоксичность.
SLA	• Энергия, затрачиваемая на постобработку практически ничтожна. Технологическое оснащение минимально.	Он имеет самый высокий показатель энергии подготовки материала, т.е. высокий удельный расход энергии. Энергия тратится впустую на предварительный нагрев оборудования.
FDM	• Потребление ресурсов незначительно. • Отходы могут быть переработаны. Технологические остатки незначительны.	Показатель общей энергии является самым высоким в процессах FDM, поскольку он потребляет много энергии при нагреве материала. Это способствует эвтрофикации пресной и морской воды.

[28] M Baumers, C Tuck, DL Bourell, et al. , Sustainability of additive manufacturing: measuring the energy consumption of the laser sintering process, IMechE Part B: J. Eng. Manuf. 225 (2011) 2228–2239.

[29] S.H. Huang, P. Liu , A. Mokasdar, L. Hou, Additive manufacturing and its societal impact: a literature review, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 67 (2013) 1191e1203.

[30] S. Ford, M. Despeisse , Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges, J. Cleaner Prod. 137 (2016) 1573–1587

[31] K.U. Bletzinger, E. Ramm, Structural optimisation and form-finding of lightweight structures, Comput. Struct. 79 (2001) 2053–2062.

[32] R.A. Buswella, R.C. Soara, A.G.F. Gibbb, A. Thorpe, Free form construction: mega-scale rapid manufacturing for construction, Autom. Constr. 16 (2007) 224–231.

[33] M. Wanibuchi, S. Noshiro, T. Sugino, Y. Akiyama, T. Mikami, S. Iihoshi, N. Mikuni, Training for skull base surgery with a colored temporal bone model created by three-dimensional printing technology, World Neurosurg. 91 (2016) 66–72.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Были проведены определенные исследования для сравнения традиционных методов обработки с технологиями 3D-печати на основе различных факторов для определения их воздействия на окружающую среду. Серрес и др.[34] провели экологическую оценку прямого аддитивного лазерного производства (CLAD) и сравнили его с воздействием на окружающую среду традиционных методов обработки. Согласно этим экспериментам, технологии 3D-печати кажутся более экологичными. Аналогичные исследования проводились также с использованием LENS[35] и[36,37].

Наблюдение 1: 3D-печати является лучшей альтернативой для производства сложных и малосерийных деталей, поскольку он снижает ухудшение состояния окружающей среды и имеет меньшие потери материала, а также экономит время сборки, но требует большего количества энергии. Воздействие 3D-печати на окружающую среду было на 70% меньше по сравнению с традиционным производственным процессом.

• В рамках проекта ATKINS было проведено тщательное сравнительное исследование различных производственных процессов с различными методами аддитивного производства на основе использования энергии, воды, отходов, первичных материалов и т. д.

Наблюдение 2: результаты этого эксперимента были неожиданными, так как было обнаружено, что энергопотребление процессов 3D-печати было больше, чем процессы механической обработки.

• Существует мнение, что 3D-печати потребляет меньше энергии по сравнению с обычными производственными процессами. Это также может быть связано с тем, как здесь измеряется потребление энергии. Киловатт-часы (кВтч) обычно используются для определения уровня энергопотребления геометрической формы изделия на килограмм. Используя эту меру, Луо и другие. проанализировали три типичных процесса 3D-печати: стереолитографию, селективное лазерное спекание и моделирование плавленым осаждением.

Наблюдение 3: Уровень энергопотребления, используемый для различных технологий, может быть меньше, чем киловатт-часы (кВтч), потребляемые на килограмм геометрии изделия.

[34] N Serres, D Tidu, S Sankare, F Hlawka, Environmental comparison of MESO-CLAD process and conventional machining implementing life cycle assessment, J. Clean. Prod. 19 (2011) 1117–1124.

[35] Y Xiong, JM Schoenung, Process cost comparison for conventional and near-net-shape cermet fabrication, Adv. Eng. Mater. 12 (2010) 235–241 .

[36] WR Morrow, H Qi, I Kim, J Mazumder, SJ Skerlos, Environmental aspects of laser-based and conventional tool and die manufacturing, J. Clean. Prod. 15 (2006) 932–943.

[37] J Mazumder, A Schifferer, J Choi, Direct materials deposition: designed macro and microstructure, Mat. Res. Innovat. 3 (1999) 118–131.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

• Баумерс и др. В работе[38] изучалось потребление энергии для различного оборудования, используемого для различных процессов. Они обнаружили значительные различия в показателях потребления энергии для одного и того же процесса аддитивного производства. Данное изменение в потреблении энергии маловероятно из-за типа оборудования, используемого в эксперименте. Вместо этого большинство вариаций можно отнести к тому, как проводятся эксперименты.

• Анри и др.[39] провели анализ воздействия на окружающую среду, чтобы сравнить технологии 3D-печати с традиционными методами. Они применяли метод LCA для определения критерия принятия решения, который можно было бы использовать для выбора стратегии производства продукта или процесса (в данном случае авиационной турбины из титана). Они сравнили производство, использование и срок службы компонентов, энергию, затрачиваемую на различные процессы, и их воздействие на окружающую среду. Чтобы установить общий метод выбора между производственным процессом, они изучили неизбежные компромиссы, такие как обработка сырья в технологиях 3D-печати, которая потребляет энергию и образует отходы. В исследовании пренебрегали жизненными циклами машин, производящих компонент, и было обнаружено, что для того же компонента 3D-печати (EBM или электронно-лучевая плавка) производит значительно меньше отходов и даже может быть топологически оптимизирован[40], чтобы минимизировать объем используемого материала. Они обнаружили, что при использовании обычного процесса измельчения потребление энергии процесса значительно меньше, чем процесс 3D-печати, где для производства самого порошкового материала требуется сравнительно больше энергии[41,42,43,44,45]. Для производства сырья в виде порошка производится распыление титана. Для этого титан нагревается до температуры выше его точки плавления. Затем жидкий металл под давлением пропускается через сопло, на выходе из которого он дробится струями аргона с образованием

[38] Y Xiong, JM Schoenung, Process cost comparison for conventional and near-net-shape cermet fabrication, Adv. Eng. Mater. 12 (2010) 235–241.

[39] Singh R., Singh S, Additive Manufacturing: An Overview Guru Nanak Dev Engineering College, Ludhiana, India doi: 10.1016/B978-0-12-803581-8.04165-5.

[40] D. Bourell, J.P. Kruth, M. Leu, G. Levy, D. Rosen, A.M. Beese, A. Clare , Materials for additive manufacturing, CIRP Ann. 66 (2) (2017) 659–681 .

[41] B. Berman , 3-D printing: the new industrial revolution, Bus. Horizons 55 (2012) 155e162.

[42] N. Guo, M.C. Leu, Additive manufacturing: technology, applications and research needs, Front. Mech. Eng. 8 (3) (2013) 215e243.

[43] J. Jiang, A.R. Marathe, J.C. Keene, D.M. Taylor, A testbed for optimising electrodes embedded in the skull or in artificial skull replacement pieces used after injury, J. Neurosci. Methods 277 (2017) 21–29.

[44] M. Revilla-León, J.L. Sánchez-Rubio, J. Oteo-Calatayud, M. Özcan, Impression technique for a complete-arch prosthesis with multiple implants using additive manufacturing technologies, J. Prosthet. Dent. 117 (6) (2017) 714–720.

[45] S. Hengsbach, AD Lantana, Rapidprototypingofmulti-scale biomedical microdevices by combining additive manufacturing technologies, Biomed. Microdevices 16 (2014) 617–627.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

сферических капель. Келленс, К. и др. В 2017 г. для процесса распыления использовался Ti-6Al-4V, который потреблял удельную энергию 7,02 МДж/кг и достиг КПД 97 %[46].

Пэрис, Х. и др. (2016) использовали две безразмерные величины: R, сравнивающий процессы с точки зрения окружающей среды и K, который является коэффициентом формы, определяющим сложность формы.

R= Воздействие процесса AM на окружающую среду/ Воздействие процесса измельчения на окружающую среду

K= Объем материала, удаляемого в процессе измельчения/ Объем детали

В процессе электронно-лучевой плавки (EBM) применяется печать металлом. Вышеуказанное воздействие классифицируется на основе их относительного воздействия на окружающую среду.

Парис и другие, 2016 установили, что с увеличением значения K уменьшается R, а это означает, что по мере увеличения сложности формы компонента увеличивается воздействие процесса фрезерования на окружающую среду. Принимая во внимание все вышеперечисленные факторы, мы видим, что этот метод дает инженерам простой инструмент для определения экологической пригодности производственной стратегии для изготовления деталей[47].

Аналогичное исследование было проведено М. Карафа и другие на предприятии LCA с традиционным и аддитивным производством для изготовления стержней пресс-формы, используемых для формирования внутренней структуры детали во время процесса отвердевания. В документе для изготовления стержней были приняты четыре различных типа процессов или систем продуктов, и были изучены относительные экологические и экономические последствия этих процессов. Кафара, М. и др. 2017, было проведено сравнение различных продуктов, изготовленных из разных материалов, с их процессами производства сердечника, удаления сердечника и отходов, соответственно, а именно; XMCP 137 (сплав олова и 58% висмута) Литье-выплавка-переработка и утилизация были изготовлены путем бурения и удаления промывкой, а отходы - утилизированы. Было замечено, что ударопрочный полистирол (HIPS) производится методом аддитивного производства; D-лимонен и вода были удалены из активной зоны путем промывки и удаления отходов. Точно так же соль (хлорид натрия и добавки)

[46] E Griffin , DR Mumm , DB Marshall , Rapid prototyping of functional ceramic composites, Am. Ceram. Soc. Bull. 75 (7) (1996) 65–68.

[47] Additive Manufacturing: An Overview Guru Nanak Dev Engineering College

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

производилась путем аддитивного производства, промывки и водоотведения[48].

Относительное воздействие процессов на окружающую среду можно проанализировать, следуя диаграмме результатов характеристики, где категория с наибольшим воздействием представлена как 100%.

Карафа и другие, 2017 не обнаружил тенденции, но был изучен конкретный набор характеристик воздействия, чтобы определить, существует ли значительная разница между значениями и причиной, если таковая имеется. Система продуктов MCP 137 имеет наибольшую ценность благодаря материалу сердцевины. По этой причине (основной материал) Aqua pour лидирует в категории ударопрочности по водопоглощению[49].

В своей статье Карел Келенс и др. сравнили воздействие на окружающую среду пяти различных методов AM, то есть SLM (селективное лазерное плавление), SLS, EBM, FDM и SLA, предоставив обзор доступных данных инвентаризации жизненного цикла (LCI)[50]. Исследование основано на различных этапах жизненного цикла процесса, т.е. на этапе производства материала, этапе эксплуатации машины и этапе последующей обработки. Воздействие на окружающую среду на всех этих этапах больше изучается, чтобы лучше понять эффект этих процессов.

Значения удельного энергопотребления (SEC) для процесса SLS варьируются от 107 до 145 МДж/кг. Эта разница в значениях SEC может быть объяснена различной конструкцией станков и различными материалами, выбранными для тематического исследования и конструкции компонентов. Тщательное исследование, проведенное Ренальди и др., о энергетическом и экологическом воздействии, связанном с процессом SLS, можно визуализировать с помощью соответствующей круговой диаграммы[51,52]

Келленс, К. и др. (2017) изучили данные LCI процесса селективного лазерного плавления (SLM), где лайнер Concept Laser M3 (станок) используется с материалом 316L, менее 3,350 кВт (средняя рабочая мощность), 0,700 кВт (средняя мощность в режиме ожидания), которые имеют SEC 97,0 МДж / кг и азота: 3,5 м 3 /ч 20,4 % отработанного порошка в качестве расхода ресурсов.

[48] AT Clare, PR Chalker, S Davies, CJ Sutcliffe, S Tsopanos, Selective laser sintering of barium titanatepolymer composite films, J. Mater. Sci. 43 (2008) 3197–3202.

[49] K. Kellens, R. Renaldi, W. Dewulf, J.P. Kruth, J.R. Duflou, Environmental impact modeling of selective laser sintering processes, Rapid Prototyping J. 20 (6) (2014) 459–470.

[50] Rapid prototyping of functional ceramic composites, 75 (7) (1996) 65–68

[51] Additive Manufacturing: An Overview Guru Nanak Dev Engineering College

[52] H. Paris, H. Mokhtarian, E. Coatanéa, M. Museau, I.F. Ituarte, Comparative environmental impacts of additive and subtractive manufacturing technologies, CIRP Ann. 65 (1) (2016) 29–32.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Renishaw AM250 использовал материал AlSi10Mg, менее 1,166 кВт (средняя рабочая мощность), 0,430 кВт (средняя мощность в режиме ожидания), который имеет SEC 566,2 МДж/кг[53].

Значения SEC варьируются от 97 до 588 МДж/кг для разных машин, работающих в разных условиях. В этой технологии производства существует дополнительное потребление ресурсов, соответствующее конкретным станкам, которые вносят значительный вклад в воздействие на окружающую среду.

Келленс, К. и др. (2017) изучили данные LCI процесса электронно-лучевой плавки (EBM), в котором Arcam AB – A1 (станок) использовался с материалом Ti-6Al-4V, мощностью менее 2,133 кВт (средняя рабочая мощность), которые имеют SEC 375,0 МДж/ кг и имел аргон с расходом ресурсов 5,5 м 3 /ч[54].

Келленс, К. и др. (2017) также изучили данные LCI процесса моделирования плавленых отложений (FDM), в котором использовались различные модели машин Stratasys FDM. Наилучший результат был достигнут с материалом ABS, поскольку Stratasys FDM 8000 (станкостроение) использовал материал ABS мощностью менее 2200 кВт (средняя рабочая мощность), который имеет SEC 83,1 МДж/кг. Он прокомментировал, что нет данных о ресурсоемкости различных станков для моделирования методом наплавки. Значения SEC находятся в диапазоне от 83,1 до 1247,0 МДж/кг для различных типов машин FDM.

Далее[55] заметил, что большая часть потребления энергии приходится на стадию предварительного нагрева станка FDM.

Келленс, К. и др. (2017) изучили данные LCI процесса стереолитографии (SLA), в котором 3D System SLA 250 (станок) используется с материалом SI 500 и имеет SEC 49,9 МДж/кг[56]. Для различных материалов значения SEC колеблются в пределах 49,9–149 МДж/кг. Тем не менее, нет доступных данных о среднем энергопотреблении машины PAN 1 (Fast MIP-SL) в режиме ожидания и в режиме ожидания из исследования, проведенного Малше и др[57].

Янчун Луо и др. провели исследование экологических аспектов методов изготовления произвольной формы процессов 3D-печати SLA, SLS и

[53] Rapid prototyping of functional ceramic composites, 75 (7) (1996) 65–68
[54] Rapid prototyping of functional ceramic composites, 75 (7) (1996) 65–68
[55] B. Vayre, F. Vignat, F. Villeneuve, Designing for additive manufacturing, Procedia CIrP 3 (2012) 632–637.
[56] Environmental impact modeling of selective laser sintering processes, 20 (6) (2014) 459–470
[57] M. Kafara, M. Süchting, J. Kemnitzer, H.H. Westermann, R. Steinhilper, Comparative life cycle assessment of conventional and additive manufacturing in mold core making for CFRP production, Procedia Manuf. 8 (2017) 223–230.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

FDM. Модель LCA этих процессов была разделена на 5 фаз, и на каждой фазе определялся EIV или вектор воздействия на окружающую среду, который зависит от восьми элементов, а именно: извлечение материала (ME), производство материала (MP), потребление энергии (EC), остаток (RS), токсичность материала (MT), захоронение (LF), переработка отходов (WP), переработка (RC). На основе этого процесса данные об экологических характеристиках могут быть рассчитаны с учетом конкретных параметров процесса, упомянутых далее:

- V: Скорость сканирования (мм/сек)
- W: Размер ширины дороги (мм)
- T: Толщина слоя (мм)
- p: плотность материала (кг/мм^3)
- P: Номинальная мощность (кВт)
- k: коэффициент производственных затрат (0,6–0,9)

Производительность процесса (PP) и уровень энергопотребления (ECR) для SL, SLS и FDM можно определить в соответствии с принципом послойного изготовления, как[58] .

$$PP(kg/h) = V \cdot W \cdot T \cdot p \cdot 3600 \cdot k$$

$$ECR(kWh/kg) = \text{Мощность/ Производительность}$$

3.1 Анализ процесса SLA

Энергетический показатель SLA 250, SLA 3000 и SLA 5000 составляет соответственно 18,51, 23,58 и 11,79.

Анализ производительности процесса SLA показывает комбинированный энергетический показатель на протяжении всего жизненного цикла продукта от подготовки материала до окончательного захоронения на свалке или сжигания[59,60,61,62,63,64]. Видно, что энергетический показатель подготовки материала одинаков в случае SLA, так как все три SLA-машины в этом случае используют один и тот же материал. Энергия, затрачиваемая на постобработку продукта, практически незначительна по сравнению с

[58] K. Kellens, R. Mertens, D. Paraskevas, W. Dewulf, J.R. Duflou, Environmental impact of additive manufacturing processes: does AM contribute to a more sustainable way of part manufacturing? Procedia Corp. 61 (2017) 582–587

[59] Malshe H, Nagarajan H, Pan Y, Haapala K. Profile of sustainability in additive manufacturing and environmental assessment of a novel stereolithography process. Proceedings of the ASME 2015 International Manufacturing Science and Engineering Conference MSEC2015. MSEC2015-9371.

[60] Y. Al-Meslemi, N. Anwer, L. Mathieu, Environmental performance and key characteristics in additive manufacturing: a literature review, Procedia CIRP 69 (2018) 148–153.

[61] E. Sanchez-Rexach, T.G. Johnston, C. Jehanno, H. Sardon, A. Nelson, Sustainable materials and chemical processes for additive manufacturing, Chem. Mater. 32 (17) (2020) 7105–7119.

[62] RP Singh, M Javaid, A Haleem, R Vaishya, S. Bahl, Significance of Health Information Technology (HIT) in context to COVID-19 pandemic: potential roles and challenges, J. Ind. Integr. Manage. 5 (4) (2020 Dec 1) .

[63] M Ammar, A Haleem, M Javaid, R Walia, S. Bahl, in: Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies. Materials Today: Proceedings, 2021 Feb 26 .

[64] M Yazdani, AE Torkayesh, ED Santibanez-Gonzalez, SK. Otaghsara, Evaluation of Renewable Energy Resources using Integrated Shannon Entropy–EDAS Model, Sustainable Operations and Computers, 2020 Dec 25.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

энергией процесса сборки. Таким образом,

Индикатор общей энергии = показатель энергии подготовки материала + показатель энергии процесса сборки + показатель энергии использования + показатель энергии утилизации

Янчун Луо и др. исследовать EPA для процесса стереолитографии (SLA) эпоксидной смолы SLA 5170 для оборудования с машинами SLA моделей 250 и 3500.

3.2 Анализ процесса SLS

Энергетический показатель Модели 2000, Модели 2500 составляет соответственно 22,85 и 17,00.

Янчун Луо и другие, 1999 использовали параметры для расчета энергетического показателя SLS для различного оборудования. Установлено, что показатель общей энергии составляет 22,85 для модели 2000 года при Экопоказателе 0,57/кВтч.

Анализ производительности SLS выполняется так же, как и процесс SLA. Показатель общей энергии выводится таким же образом, как и для SLA. Энергия, необходимая для приготовления полимерного материала, меньше в SLS. В этом случае также возможна переработка продукта.

3.3 Анализ процесса FDM

Показатель энергии для FDM 1650, FDM 2000, FDM 8000 и FDM Quantum составляет соответственно 197,45, 65,66, 13,15 и 93,30.

Материалом, используемым в этом процессе для всех машин, является ABS с показателем энергии подготовки материала. Также возможна переработка продукта, а показатель общей энергии рассчитывается по той же формуле, что и в процессе SLA.

Кара и др., 2011 г. провели анализ экологических характеристик (EPA) для моделирования плавких отложений (FDM) с использованием оборудования FDM-1650, FDM-2000, FDM-8000 и FDM Quantum. Исследования были проведены с использованием акрилонитрил-бутадиен-стирола (АБС). Воздействие на окружающую среду является самым высоким для FDM-1650 и составляет 197,25 (подготовка материала 9,3, процесс сборки 197,45, утилизация -9,5), а самым низким для FDM-8000 составляет 12,95 (подготовка материала 9,3, процесс сборки 13,15, Утилизация -9,5).

С.Кара и соавторы[65] провели исследование по выведению эмпирической зависимости между потреблением энергии и переменными эксперимента в процессах удаления металла или традиционных производственных

[65] Environmental impact modeling of selective laser sintering processes, Rapid Prototyping J. 20 (6) (2014) 459–470.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

методов, чтобы определить условия, которые влияют на потребление энергии в этих процессах, а также найти потенциальную энергию. С этой целью наблюдают за потреблением энергии, связанным с различными переменными процесса, чтобы найти эмпирическую взаимосвязь с помощью программного обеспечения SPSS.

Восемь различных токарных и фрезерных станков с ЧПУ использовались для разработки и проверки эмпирических взаимосвязей с использованием различных параметров процесса, которые привели бы к разным скоростям обработки металла или MRR для прогнозирования удельного энергопотребления. Для контроля общего энергопотребления машины использовалась эффективная и точная измерительная система. В следующей таблице 4 показаны условия резания, которые использовались для получения эмпирических соотношений:

Таблица 4

Изменение скорости резания, подачи, глубины резания, используемых для токарных операций

Переменная Материал заготовки	Различия Алюминий (2011)	Сталь (1020)	Высокая прочность на растяжение (4140)
Скорость резания (м/мин)	200 300 400	400 120 160	100 140 180
Подача (мм/зуб)	0.1 0.2 0.3	0.3 0.1 0.15	0.1 0.15 0.2
Глубина резания (мм)	1 2 3	1 1.5 2	0.5 1 1.5
Переменная Режущая среда	Различие Сухая облаботка		Влажная облаботка
Диаметр резца (мм) Ширина разреза (мм)	32(4 зуба) 10 15		63 (4 зуба) 25 10 30

Условия резания (сухая обработка, влажная обработка) и диаметр резца в случае операций фрезерования.

Удельное потребление энергии, которое представляет собой расход энергии на удаление 1 см^3 материала из основного материала, берется для сравнения энергетических потребностей различных станков. SEC находится из эмпирических соотношений по следующей формуле:

$$CEK=C_0+C$$

Где C_0 и C машинно-зависимые коэффициенты

Они пришли к выводу, что прогнозируемое потребление энергии из приведенной выше модели достигло точности 90% с помощью проверочных тестов, как показано в таблице 5.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Таблица 5

Результаты четырех валидационных экспериментов

Переменные процесса	Экспери-мент 1	Эксперимент 2	Эксперимент 3	Эксперимент 4
Станок	Colchester A50	Mori Seiki NL2000	Mori Seiki 5500	DMU 60P
Материал заготовки	Brass	Mild steel	Mild steel	High tensile
Скорость резания (м/мин)	350	160	180	100
Подача (мм/зуб)	0.1	0.2	0.18	0.15
Глубина резания (мм)	0.5	1.25	1.7	2.0
Расчётный SEC (kJ/cm^3)	9.006	7.268	5.270	14.127
Расчётная энергия E_p (J)	18381.2	54482.6	53754.9	141370.0
Измеренная энергия E_m(J)	19990.5	53555.6	58140.3	144850.6
Точность, %	91.95%	97.63	92.46%	97.60%

Прогнозируемый SEC находится в диапазоне 5–15 кДж/см^3. Это означает, что для удаления 1 см^3 материала требуется энергия в диапазоне 5–15 кДж. Зная плотность различных рассматриваемых материалов, можно определить SEC в МДж/кг в диапазоне от 0,636 до 1,875. Предполагая, что максимальное количество материала, которое должно быть удалено при субтрактивном (вычитающем) производстве, почти в девять раз превышает количество материала, которое должно быть использовано при аддитивном производстве, потребление энергии для производства детали в случае субтрактивного производства по-прежнему не сравнимо с энергией, потребляемой при 3D-печати. Это исследование помогает визуализировать сравнение энергетических потребностей между AM и 3D-печати[66].

Было обнаружено, что 3D-печать является лучшей альтернативой для производства сложных деталей, так как снижает ухудшение состояния окружающей среды и потери материалов, а также сокращает время сборки, но потребляет больше энергии. Поскольку потери материала уменьшаются, время сборки сокращается, а воздействие на окружающую среду и потребление энергии аналогичны.

[66] Shuaib, Mohd., Abid Haleem, Sanjay Kumar and Mohd. Javaid. “Impact of 3D Printing on the environment: A literature-based study.”//Sustainable Operations and Computers Volume 2, 2021, Pages 57-63.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Заключение

Завершая вышеперечисленные изыскания, необходимо отметить, что за последние 3 десятилетия в развитии аддитивного производства был достигнут значительный прогресс, а экологические преимущества были продемонстрированы как более эффективные, менее расточительно и более устойчиво, чем обычное субтрактивное производство. Снижение воздействия производства на окружающую среду имеет важное значение для дальнейшего продвижения глобальных усилий по обеспечению устойчивого развития и сокращению отходов. Компании должны использовать эти процессы для повышения эффективности использования материалов и ресурсов, а также для обеспечения гибкости производства и запасных частей. Исследования доказывают, что AM действительно является более устойчивым, менее расточительным и, как правило, более эффективным производственным процессом.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Заключение

Монография «Современные исследования в области технических и физико-математических наук» разработана на основе результатов научных исследований авторов.

Результаты выполненных исследований показали актуальность и своевременность для общества рассматриваемых вопросов в конкретных сферах науки и образования.

В целом, работа представляет интерес как для специалистов в области проведения научных исследований, так и специалистов-практиков.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Библиографический список

1. Белов, П. С. Анализ дефектов изделий, получаемых методами аддитивных технологий / П. С. Белов, С. Л. Махов // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 1(91). – С. 8-13. – EDN EGKCAO.

2. Белов, П. С. Влияние параметров постобработки на шероховатость поверхности изделий, получаемых методами аддитивных технологий / П. С. Белов // Вестник МГТУ "Станкин". – 2019. – № 1(48). – С. 57-61. – EDN YJPJAB.

3. Белов, П. С. Исследование изотропности изделий, изготовленных методами аддитивных технологий / П. С. Белов, О. Г. Драгина, Д. Ю. Никифоров // Вестник МГТУ "Станкин". – 2019. – № 4(51). – С. 47-50. – EDN LBCIVT.

4. Белов, П. С. Повышение качества обработки за счёт улучшения конструктивно-технологических параметров резцов : специальность 05.02.07 "Технология и оборудование механической и физико-технической обработки" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Белов Павел Сергеевич. – Москва, 2011. – 20 с. – EDN QHUWTZ.

5. Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 127-129.

6. Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 2 (25). С. 43-46.

7. Гостева Н.Н., Гусев А.В. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 1 (20). С. 58-60.

8. Землянухина Н.С. О ПРИМЕНЕНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕНЕДЖМЕНТЕ // Успехи современного естествознания. 2012. № 6. С. 106-107.

9. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015 - 220 с.

10. История и классификация аддитивных технологий URL: https://extxe.com/3698/istorija-i-klassifikacija-additivnyh-tehnologij/ (дата обращения 14.10.2022)

11. Максимов И.Б. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 130-135.

12. Максимов И.Б.КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ //

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

13. Пеньков П.В. ЭКСПЕРТНЫЕ МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 108-110.

14. ПОСТРОЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2008. № 3. С. 079-081.

15. Преображенский Ю.П. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СФЕРЕ МЕНЕДЖМЕНТА //

16. Преображенский Ю.П. НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ. В сборнике: ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ: ПУТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ. Сборник научных трудов 8-й Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. 2019. С. 62-64.

17. Преображенский Ю.П. О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. В сборнике: ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ОБЩЕСТВА И ФОРМИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ЕГО СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ. Сборник научных статей 8-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 45-48.

18. Преображенский Ю.П. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2009. № 5. С. 116-119.

19. Преображенский Ю.П. ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ. В сборнике: Актуальные проблемы развития хозяйствующих субъектов, территорий и систем регионального и муниципального управления. Материалы XIII международной научно-практической конференции. Под редакцией Ю.В. Вертаковой. 2018. С. 208-211.

20. Преображенский Ю.П., Коновалов В.М. О МЕТОДАХ СОЗДАНИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2019. № 4 (31). С. 75-79.

21. Преображенский Ю.П., Паневин Р.Ю. ФОРМУЛИРОВКА И КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т. 6. № 5. С. 99-102.

22. Проблемы взаимодействия человека, общества и природы: концепция устойчивого развития и ее реализация в России / П. С. Белов, А. А. Бровченко, О. А. Бровченко [и др.]. – Нижний Новгород : Профессиональная наука, 2021. – 107 с. – ISBN 978-1-312-75403-4. – EDN OZMIXI.

23. Результаты исследований естественных и точных наук: междисциплинарный подход и сверхаддитивный эффект : Монография / А. А. Абзалов, М. А. Асеева, М. М. Атабаев [и др.] ; Под редакцией В.В. Ерохина, Л.П.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Тереховой, О.А. Подкопаева. – Самара : Общество с ограниченной ответственностью "Поволжская научная корпорация", 2018. – 261 с. – ISBN 978-5-6040572-3-0. – EDN HLDPCA.

24. Ряжских А.М., Преображенский Ю.П.

25. Самойлова У.А. О НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 176-179.

26. Свиридов В.И., Чопорова Е.И., Свиридова Е.В. ЛИНГВИСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С КОМПЬЮТЕРОМ // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7. № 1 (24). С. 430-438.

27. ASTM – классификация URL: https://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/AdditiveManufacturingTerminology.pdf (дата обращения 14.10.2022)

28. AT Clare, PR Chalker, S Davies, CJ Sutcliffe, S Tsopanos, Selective laser sintering of barium titanatepolymer composite films, J. Mater. Sci. 43 (2008) 3197–3202.

29. B. Berman , 3-D printing: the new industrial revolution, Bus. Horizons 55 (2012) 155e162.

30. B. Vayre, F. Vignat, F. Villeneuve, Designing for additive manufacturing, Procedia CIrP 3 (2012) 632–637.

31. Chapter 6: Innovating Clean Energy Technologies in Advanced Manufacturing | Additive Manufacturing Technology Assessment [Электронный ресурс]: Quadrennial Technology Review 2015 // U.S. Department of Energy. 2015. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/11/f27/QTR2015-6A-Additive%20Manufacturing.pdf (дата обращения: 26.04.2022)

32. D. Bourell, J.P. Kruth, M. Leu, G. Levy, D. Rosen, A.M. Beese, A. Clare , Materials for additive manufacturing, CIRP Ann. 66 (2) (2017) 659–681 .

33. E Griffin , DR Mumm , DB Marshall , Rapid prototyping of functional ceramic composites, Am. Ceram. Soc. Bull. 75 (7) (1996) 65–68.

34. E. Sanchez-Rexach, T.G. Johnston, C. Jehanno, H. Sardon, A. Nelson, Sustainable materials and chemical processes for additive manufacturing, Chem. Mater. 32 (17) (2020) 7105–7119.

35. H. Paris, H. Mokhtarian, E. Coatanéa, M. Museau, I.F. Ituarte, Comparative environmental impacts of additive and subtractive manufacturing technologies, CIRP Ann. 65 (1) (2016) 29–32.

36. J Mazumder, A Schifferer, J Choi, Direct materials deposition: designed macro and microstructure, Mat. Res. Innovat. 3 (1999) 118–131.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

37. J. Jiang, A.R. Marathe, J.C. Keene, D.M. Taylor, A testbed for optimising electrodes embedded in the skull or in artificial skull replacement pieces used after injury, J. Neurosci. Methods 277 (2017) 21–29.

38. K. Kellens, R. Mertens, D. Paraskevas, W. Dewulf, J.R. Duflou, Environmental impact of additive manufacturing processes: does AM contribute to a more sustainable way of part manufacturing? Procedia Corp. 61 (2017) 582–587

39. K. Kellens, R. Renaldi, W. Dewulf, J.P. Kruth, J.R. Duflou, Environmental impact modeling of selective laser sintering processes, Rapid Prototyping J. 20 (6) (2014) 459–470.

40. K.U. Bletzinger, E. Ramm, Structural optimisation and form-finding of lightweight structures, Comput. Struct. 79 (2001) 2053–2062 .

41. M Ammar, A Haleem, M Javaid, R Walia, S. Bahl, in: Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies. Materials Today: Proceedings, 2021 Feb 26 .

42. M Baumers, C Tuck, DL Bourell, et al. , Sustainability of additive manufacturing: measuring the energy consumption of the laser sintering process, IMechE Part B: J. Eng. Manuf. 225 (2011) 2228–2239.

43. M Yazdani, AE Torkayesh, ED Santibanez-Gonzalez, SK. Otaghsara, Evaluation of Renewable Energy Resources using Integrated Shannon Entropy–EDAS Model, Sustainable Operations and Computers, 2020 Dec 25.

44. M. Kafara, M. Süchting, J. Kemnitzer, H.H. Westermann, R. Steinhilper, Comparative life cycle assessment of conventional and additive manufacturing in mold core making for CFRP production, Procedia Manuf. 8 (2017) 223–230.

45. M. Revilla-León, J.L. Sánchez-Rubio, J. Oteo-Calatayud, M. Özcan, Impression technique for a complete-arch prosthesis with multiple implants using additive manufacturing technologies, J. Prosthet. Dent. 117 (6) (2017) 714–720.

46. M. Wanibuchi, S. Noshiro, T. Sugino, Y. Akiyama, T. Mikami, S. Iihoshi, N. Mikuni, Training for skull base surgery with a colored temporal bone model created by three-dimensional printing technology, World Neurosurg. 91 (2016) 66–72.

47. Malshe H, Nagarajan H, Pan Y, Haapala K. Profile of sustainability in additive manufacturing and environmental assessment of a novel stereolithography process. Proceedings of the ASME 2015 International Manufacturing Science and Engineering Conference MSEC2015. MSEC2015-9371.

48. N Serres, D Tidu, S Sankare, F Hlawka, Environmental comparison of MESO-CLAD process and conventional machining implementing life cycle assessment, J. Clean. Prod. 19 (2011) 1117–1124.

49. N. Guo, M.C. Leu, Additive manufacturing: technology, applications and research needs, Front. Mech. Eng. 8 (3) (2013) 215e243.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

50. R.A. Buswella, R.C. Soara, A.G.F. Gibbb, A. Thorpe, Free form construction: mega-scale rapid manufacturing for construction, Autom. Constr. 16 (2007) 224–231.

51. RP Singh, M Javaid, A Haleem, R Vaishya, S. Bahl, Significance of Health Information Technology (HIT) in context to COVID-19 pandemic: potential roles and challenges, J. Ind. Integr. Manage. 5 (4) (2020 Dec 1) .

52. S. Ford, M. Despeisse , Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges, J. Cleaner Prod. 137 (2016) 1573–1587.

53. S. Hengsbach, AD Lantana, Rapidprototypingofmulti-scale biomedical microdevices by combining additive manufacturing technologies, Biomed. Microdevices 16 (2014) 617–627.

54. S.H. Huang, P. Liu , A. Mokasdar, L. Hou, Additive manufacturing and its societal impact: a literature review, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 67 (2013) 1191e1203.

55. Shuaib, Mohd., Abid Haleem, Sanjay Kumar and Mohd. Javaid. “Impact of 3D Printing on the environment: A literature-based study.”//Sustainable Operations and Computers Volume 2, 2021, Pages 57-63.

56. Singh R., Singh S, Additive Manufacturing: An Overview Guru Nanak Dev Engineering College, Ludhiana, India doi: 10.1016/B978-0-12-803581-8.04165-5.

57. WR Morrow, H Qi, I Kim, J Mazumder, SJ Skerlos, Environmental aspects of laser-based and conventional tool and die manufacturing, J. Clean. Prod. 15 (2006) 932–943.

58. Y Xiong, JM Schoenung, Process cost comparison for conventional and near-net-shape cermet fabrication, Adv. Eng. Mater. 12 (2010) 235–241 .

59. Y. Al-Meslemi, N. Anwer, L. Mathieu, Environmental performance and key characteristics in additive manufacturing: a literature review, Procedia CIRP 69 (2018) 148–153.

60. YC Luo, ZM Ji, Leu, et al. , Environmental performance analysis of solid freeform fabrication processes, in: The 1999 IEEE IntSymp on Electron and the Environ, NY, IEEE, 1999, pp. 1–6.

НОО «Профессиональная наука» использует Creative Commons Attribution (CC BY 4.0): лицензию на опубликованные материалы - https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru|

Сведения об авторах

Аветисян Татьяна Владимировна	*Воронежский институт высоких технологий, специалист проектного отдела ВИВТ*
Бровченко Анастасия Александровна	*преподаватель кафедры ТАП, ЕТИ ФГБОУ ВО МГТУ "СТАНКИН", аспирант 2 курса ФГБОУ ВО "МГТУ "СТАНКИН"*
Бровченко Ольга Александровна	*старший преподаватель кафедры ТАП, ЕТИ ФГБОУ ВО МГТУ "СТАНКИН"*
Белов Павел Сергеевич	*доцент кафедры ТОиАМП, ЕТИ ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», к.т.н.*
Драгина Ольга Геннадьевна	*заведующий кафедрой, доцент кафедры ТОиАМП, ЕТИ ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», к.т.н.*
Львович Яков Евсеевич	*Воронежский институт высоких технологий, профессор, доктор технических наук, профессор*
Никифоров Владислав Юрьевич	*старший преподаватель кафедры ТОиАМП, ЕТИ ФГБОУ ВО МГТУ "СТАНКИН"*
Преображенский Андрей Петрович	*Воронежский институт высоких технологий, профессор, доктор технических наук, профессор*
Преображенский Юрий Петрович	*Воронежский институт высоких технологий, проректор по ИТ, кандидат технических наук, доцент*

Электронное научное издание

сетевого распространения

Современные исследования в области технических и физико-математических наук

монография

По вопросам и замечаниям к изданию, а также предложениям к сотрудничеству обращаться по электронной почте mail@scipro.ru

Подготовлено с авторских оригиналов

ISBN 978-5-907607-22-4

Усл. печ. л. 2,1
Объем издания 2,1 MB
Оформление электронного издания: НОО
Профессиональная наука, mail@scipro.ru
Дата размещения: 16.03.2023г.
URL: http://scipro.ru/conf/monograph_100323.pdf.