

УДК:338.1

Методология применения современных технологий 3D-моделей*Д-р экон наук Ильин И.В. igor.ilin@spbstu.ru**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29***Шаронова А.Д. adsharonova@mail.ru***Университет ИТМО**197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49**Канд. экон. наук Нефедова Л.А. advantage2001@yandex.ru**Научно-исследовательский технологический центр
аддитивных технологий и материалов (НИТЦ АТuM)**192012, Россия, Санкт-Петербург, пр-т Обуховской обороны, 120*

Введение: в последнее время сфера применения технологий аддитивного производства расширяется, создавая новые возможности для различных типов производства. Аддитивное производство (иногда называемое быстрым прототипированием или 3D-печатью) - это метод изготовления, при котором слои материала создаются для создания твердого объекта. Хотя существует много различных технологий 3D-печати, эта статья будет сосредоточена на общем процессе. Основным для технологий аддитивного производства является использование компьютера, программного обеспечения для 3D моделирования (автоматизированного проектирования или САПР), машинного оборудования и многослойного материала. В этих условиях появляется задача распространения этих технологий на новые отрасли производства. Это требует определения преимуществ технологии применительно к данной области и оценки эффективности ее применения. Выбор наиболее подходящего процесса производства для конкретного применения может быть затруднен. Очень большой диапазон доступных технологий 3D печати и материалов часто означает, что некоторые из них могут быть жизнеспособными, но каждый предлагает изменения в размерной точности, поверхностной отделке и требованиях постобработки. Объектом исследования: являются технологии 3D-моделей. Предметом исследования: является анализ основных методов и инструментов применения технологии 3D-моделей. Целью данного исследования: анализ действующих технологий 3D-моделей и формирование рекомендаций по их совершенствованию. В статье рассмотрены факторы эффективности внедрения технологий аддитивного производства и возможные методики оценки качества и эффективности принимаемых решений. Также обсуждаются необычные и новые области применения, такие как микро-масштабное производство, медицинское применение, аэрокосмическая промышленность и быстрое производство.

Ключевые слова: аддитивное производство, технологии, цифровая инфраструктура.

DOI: 10.17586/2310-1172-2019-12-2-130-134

Methodology of application of modern technologies 3D-models*D.Sc. Ilyin I.V. igor.ilin@spbstu.ru**Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
195251, Russia, St. Petersburg, Politekhnikeskaya, d. 29***Sharonova A.D. adsharonova@mail.ru***ITMO University**197101, Russia, St. Petersburg, Kronverkskij pr., d. 49**Ph.D. Nefedova L.A. advantage2001@yandex.ru**Research Technology Center for Additive Technologies and Materials
195251, Russia, Sankt-Peterburg, Politekhnikeskaya, d. 29*

Recently, the scope of application of technology of additive production is expanding, creating new opportunities for various types of production. Additive manufacturing (sometimes called rapid prototyping or 3D printing) is a manufacturing method in which layers of material are created to create a solid object. Although there are many different technologies for 3D printing, this article will focus on the overall process. The core of additive manufacturing technologies is the use of computer, 3D modeling software (computer aided design or CAD), machinery, and multilayer material. In these conditions, the task appears to spread these technologies to new industries. This requires determining the advantages of the technology in relation to this area and evaluating the effectiveness of its application. Choosing the most suitable manufacturing process for a particular application can be difficult. The very large range of 3D printing technologies and materials available often means that some of them may be viable, but each suggests changes in dimensional accuracy, surface finish and post-processing requirements. The object of research is the technology of 3D models. The subject of the research is the analysis of the main methods and tools for applying the technology of 3D models. The purpose of this study is to analyze the existing technologies of 3D-models and the formation of recommendations for their improvement. The article considers the factors of efficiency of the introduction of technologies of additive production and possible methods for assessing the quality and effectiveness of decisions made. Unusual and new applications are also discussed, such as micro-scale manufacturing, medical applications, aerospace and fast production.

Keywords: additive manufacturing, technology, digital infrastructure.

Введение

На сегодняшний день развитие технологий аддитивного производства (Additive manufacturing, AM) создает для предприятий различных отраслей все больше конкурентных преимуществ с точки зрения гибкости производственных процессов. В рамках концепции Industry 4.0 предполагается широкое использование этих технологий для производства небольших партий продукции с учетом конструктивных преимуществ, таких как возможность производить сложные, легкие конструкции. Высокопроизводительные, децентрализованные системы аддитивного производства позволят сократить транспортные расходы и запасы на складе. Также важна возможность сокращения затрат на дорогостоящее сырье при обеспечении новых важных свойств продукции. Применение AM безгранично. Ранее использование AM в форме быстрого прототипирования сосредоточено на моделях визуализации подготовки производства. В последнее время AM используется для изготовления конечных продуктов в авиастроении, медицинском оборудовании и автомобильной промышленности.

Так, например, Freeform Fabrication (далее – FF) – это новая система технологий, также известных как быстрое создание прототипов, быстрое производство и изготовление в свободной форме, а в более широком смысле – подгруппа аддитивного производства (далее – AM) [1]. Это производство деталей со сложной геометрией при относительно небольших производственных циклах. Исторически применение ограничивалось производством прототипов и литых вставок, поскольку механические свойства деталей и обработка поверхности были недостаточными для реальных структурных применений. Позже, в сочетании с постобработкой, FF использовался для производства разнообразных производственных инструментов, заказных биоинженерных деталей, археологических копий и художественных работ. Здесь AM успешно доказало свою пригодность в качестве альтернативы традиционным методам массового производства [2].

3-D печать использует процесс аддитивного производства, при котором продукты строятся на послойной основе через ряд поперечных срезов. 3D-принтеры работают аналогично традиционным лазерным или струйным принтерам с использованием порошка, который медленно внедряется в изображение послойно. 3-D принтеры используют программное обеспечение 3-D CAD, которое измеряет тысячи поперечных сечений каждого продукта, чтобы точно определить, как должен быть построен каждый слой. 3-D машина распределяет тонкий слой жидкой смолы и использует управляемый компьютером ультрафиолетовый лазер, чтобы укрепить каждый слой в указанном образце поперечного сечения. В конце процесса избыток мягкой смолы удаляется с помощью химической ванны. 3-D принтеры также могут разрабатывать продукты со свободно движущимися частями, которые не нужно собирать. Определение 3-D печати возможно применить как к оборудованию со струйными печатающими головками, которые создают объект послойно, так и к машинам быстрого прототипирования, которые являются относительно недорогими и простыми в использовании. Слово «быстрый» относится к легкости создания копии объекта благодаря простоте написания компьютерной программы, которая контролирует форму объекта. Термин «прототипирование» относится к этому процессу как к слишком медленному для использования в массовом производстве (в отличие от технологий литья под давлением, которые дают большие количества при низких удельных затратах).

Трехмерную печать в литературе сравнивают с массовой кастомизацией. Сторонники 3-D печати утверждают, что эта технология, как и массовая кастомизация, позволяет компаниям экономично создавать нестандартные продукты в небольших количествах. Хотя оба процесса могут выгодно производить партии с ограниченным количеством единиц изделий и иметь другие преимущества, они существенно различаются с точки зрения технологий производства и требований логистики. В отличие от трехмерной печати, массовая кастомизация основывается либо на использовании различных комбинаций предварительно собранных модульных деталей, либо на стратегиях отложенного дифференцирования. Например, Dell массово настраивает компьютеры, собирая различные комбинации видеокарт, жестких дисков, микропроцессоров и памяти компьютера в соответствии с индивидуальными предпочтениями клиента. Другие фирмы, которые используют массовую кастомизацию, полагаются на производственную систему с отложенной дифференциацией, которая завершает создание частично построенных продуктов на основе требований к заказу клиента. В отличие от этого, в трехмерной печати используются программное обеспечение САПР и технологии на основе аддитивного производства для печати объектов путем соединения различных материалов с помощью лазера. В то время как сырье для массового производства обычно представляет собой составные части, для трехмерной печати используются такие материалы, как пластмассы, смолы, суперсплавы, нержавеющая сталь, титан, полимеры и керамика. Поскольку составные части, которые используются при массовой кастомизации, обычно поставляются несколькими поставщиками, требуется высокая степень интеграции цепочки поставок, чтобы гарантировать, что нужные детали доступны в нужном количестве в нужное время. Для трехмерной печати используются легко доступные расходные материалы, которые можно приобрести у небольшого числа поставщиков. Массовая кастомизация требует хорошо организованной командной работы. В 3-D печати процесс производства автоматизирован и основан на программном обеспечении САПР. Эта технология не требует постоянного внимания со стороны оператора, организации дополнительных приспособлений для создания детали.

Предприятия адаптируют аддитивное производство для применения в широком спектре отраслей, стремясь найти наиболее подходящие конфигурации и компромиссы технологий производственных линий, логистики и возможностей цепочки поставок наряду с бизнес-целями, чтобы максимизировать преимущества, вытекающие из реализации АМ. Исследования в этой области включают производственные практики, начиная от производства товаров народного потребления до конфигураций цепочки поставок запасных частей.

Конкретными аспектами АМ, которые имеют особое значение с точки зрения обслуживания, являются устойчивость, воздействие на окружающую среду, экономическая конкурентоспособность, эффективность использования ресурсов и энергии, цифровая инфраструктура, а также общее качество процесса, как в отношении производственных процессов, так и конечного продукта [3].

Интересным является дальнейшее распространение системы АМ в сфере услуг с учетом стандартов и правил, которые существуют в вопросах защиты окружающей среды. Одним из главных преимуществ технологий аддитивного производства является его способность изготавливать сложные конструкции со сложными внутренними структурами.

Тем не менее, все еще недостаточно применения этой технологии в конечных продуктах для отраслей с высоким потреблением энергии, таких как автомобилестроение и авиакосмическая промышленность. Это может быть отчасти связано с технологическими ограничениями, такими как длительность сборки и желаемые механические характеристики [4].

Аддитивное производство также может быть рассмотрено в контексте бережливого производства (leanproduction), которое характеризуется следующими аспектами:

1. Отсутствие перепроизводства (производится только тот объем продукции, который соответствует текущей потребности рынка или клиента).

2. Отсутствие дефектов (и, как следствие, переработок и потери ресурсов).

Аддитивное производство может значительно снизить потребность в больших запасах (за счет производства точно под потребность). Сокращение запасов освобождает капитал и снижает расходы [5].

Аддитивное производство дает возможность изготавливать детали по запросу, а также настраивать для этого производственный процесс достаточно быстро и под определенный объем конечной продукции.

Также аддитивное производство позволяет производить несколько деталей одновременно в одной сборке, что позволяет производить целый продукт. Это уменьшает необходимость поддерживать большие запасы деталей и необходимость транспортировки деталей, произведенных в других местах, уменьшает потребность в своевременной доставке.

Рассмотрим аспекты внедрения аддитивного производства.

С точки зрения факторов, влияющих на внедрение и распространения аддитивного производства, важно отметить, что для развития технологий аддитивного производства в массовом производстве важно упорядочить подготовку данных и управление ими. Существующий процесс преобразования данных, стандартизированный для всех процессов аддитивного производства, включает преобразование параметрических САПР в послойные данные с использованием промежуточного формата файла .stl [6].

Для того чтобы сделать аддитивное производство более привлекательным для основного производства, необходимо, чтобы этапы преобразования данных для процесса аддитивного производства были сокращены. Также желательна дальнейшая автоматизация при подготовке данных [7].

Кроме того, выбор вариантов материала, доступных для процессов аддитивного производства, довольно ограничен по сравнению с традиционным процессом производства. Чтобы развивать аддитивное производство, необходимо дальнейшее развитие новых систем материалов [8]. Хотя процессы производства на основе металлов, такие как плавление лазерным лучом, продемонстрировали потенциал для разработки новых материалов, существует дополнительный потенциал для разработки современных систем материалов, таких как композиты и керамика.

Аддитивное производство активно развивается в области тестирования юзабилити и функциональности, промышленного дизайна, инженерного проектирования. Успешность внедрения технологии АМ зависит от:

- стратегических факторов (соответствие между технологией и стратегией бизнеса и производства);
- факторов цепочки поставок;
- эксплуатационных факторов (проектирование и планирование производства, учет затрат, планирование, контроль и система качества);
- технологических факторов;
- специфических для организации факторов (размер, структура и культура организации).

Существенным направлением развития аддитивного производства является производство у конечного пользователя и внедрение АМ на стадии доработки продукта. В этих целях требуется создание ориентированных на потребителя инструментов настройки продукта, модернизация цепочки поставок, инвестиции в новое поколение оборудования для АМ [9].

Далее рассмотрим анализ эффективности внедрения технологий аддитивного производства. Все описанные выше факторы повышают сложность не только внедрения аддитивных технологий, но и сложность оценки качества и эффективности разработанных и внедренных решений, связанных с аддитивным производством.

Далее рассмотрим факторы эффективности внедрения АМ.

Для оценки качества и эффективности принятых научных и технических решений для аддитивного производства на сегодняшний день не существует единой методики. Однако обзор показал, что существует большое количество подходов, которые позволяют оценить различные аспекты технологий аддитивного производства. Одной из методик анализа эффективности внедренных решений является сравнение процессов аддитивного производства и традиционных производственных процессов (например, механическая сборка). Цель такого анализа - определить, при каких обстоятельствах аддитивное производство является экономически более выгодным. Другая схожая методика сравнения основывается на анализе использования ресурсов на различных этапах процесса аддитивного производства. Целью этого типа анализа является определение того, когда и где потребляются ресурсы, и возможно ли сокращение использования ресурсов за счет использования аддитивных технологий производства [10].

Достоинствами внедрения аддитивного производства являются возможность изготавливать геометрически сложные компоненты и продукты, которые более эффективны при использовании, и возможность производства небольшого количества продукции до одной единицы. В этом случае отсутствуют затраты, связанные с оснасткой и заменой оборудования. С учетом этого фактора, оценить качество и эффективность внедрения аддитивных технологий можно с точки зрения:

- повышение функциональности и сложности продуктов;
- увеличения набора вариантов адаптации продукта для индивидуального пользователя;
- увеличения сроков службы продуктов.

Затраты на производство можно классифицировать двумя способами. Первый включает в себя «хорошо структурированные» затраты, такие как затраты на рабочую силу, материалы и машины. Второй включает «плохо структурированные затраты», такие как связанные настройкой машины и инвентаризацией. Такие затраты несут потенциальные преимущества и резервы экономии затрат в аддитивном производстве. Это означает, что оценивать качество и эффективность внедрения аддитивных технологий возможно также со следующих точек зрения:

- себестоимость продукции (увеличение или уменьшение);
- возможность точнее сформировать плановую себестоимость продукции.

Принятие новой технологии, такой как аддитивное производство, повышает гибкость производства. Также такая технология позволяет снизить затраты на производство сложных конструкций. Снижение стоимости материалов в этой ситуации позволяет повысить управляемость компании. Таким образом, используемая технология позволяет влиять на гибкость и управляемость бизнес-процессом. Можно рассмотреть цепочку возможностей компании, где под возможностью следует понимать способность эффективно производить товар или услугу. Основные категории возможностей – это основные возможности, возможности уровня процессов, возможности системного уровня и производительность. Общие возможности включают общие знания и опыт

компании и работников. Применение инновационных технологий, таких как аддитивное производство, повышает инженерные навыки, тем самым повышая уровень возможностей компании [10]. Характеристики рабочих процессов, качества, дизайна, составляющие суть возможностей уровня процессов и систем, также зависят от применяемой технологии производства. Эффективно применяемые технологии аддитивного производства способны повысить возможности и на этих уровнях. Также применение аддитивного производства способно повысить удовлетворенность потребителя за счет переноса производства на сторону конечного пользователя, что повышает возможности в категории производительности.

Аддитивное производство влияет на стоимость производства и на использование конечного продукта. Данная технология позволяет производить продукцию, труднодоступную для традиционных методов, с новыми возможностями, с большим сроком полезного использования, с более низким необходимым объемом времени, труда, природных ресурсов, необходимых для производства и дальнейшего использования продукции. Полное использование возможностей аддитивного производства требует принятия эффективных научных и технических решений. Следует правильно рассчитывать эффективный объем производства, степень централизации производства, выбор используемого материала, характер функционирования цепочки поставок. Это требует разработки методики оценки качества и эффективности таких решений.

Литература

1. Guo N., Leu M.C. Additive manufacturing: technology, applications and research needs // *Front. Mech. Eng.* 2013. Vol. 8, № 3. P. 215–243.
2. Kruth J.-P., Leu M.-C., Nakagawa T. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping // *Cirp Ann.* 1998. Vol. 47, № 2. P. 525–540.
3. Неведова Л.А., Ильин И.В. Организационные основы проведения НИОКР по развитию аддитивного производства // *Перспективы науки.* № 12(111). 2018. С. 45–48.
4. Ильин И.В., Найденышева Е.Г., Оверчук Д.С. Теоретико-игровые модели согласования интересов в проектах развития социальной инфраструктуры // *Экономика и управление.* 2014. № 2 (100). С. 63–66.
5. Aliakbari M. Additive manufacturing: State-of-the-art, capabilities, and sample applications with cost analysis. 2012.
6. Horn T.J., Harrysson O.L. Overview of current additive manufacturing technologies and selected applications // *Sci. Prog.* 2012. Vol. 95. № 3. P. 255–282.
7. Ilin I.V., Anisiforov A.B. Improving the efficiency of projects of industrial cluster innovative development based on enterprise architecture model // *WSEAS Transactions on Business and Economics.* 2014. T. 11. С. 757–764.
8. Wong K.V., Hernandez A. A review of additive manufacturing // *ISRN Mech. Eng.* 2012. Vol. 2012.
9. Thomas D.S., Gilbert S.W. Costs and cost effectiveness of additive manufacturing // *NIST Spec. Publ.* 2014. Vol. 1176. P. 12.
10. Baumers M. et al. The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push // *Technol. Forecast. Soc. Change.* 2016. Vol. 102. P. 193–201.

References

1. Guo N., Leu M.C. Additive manufacturing: technology, applications and research needs // *Front. Mech. Eng.* 2013. Vol. 8, № 3. P. 215–243.
2. Kruth J.-P., Leu M.-C., Nakagawa T. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping // *Cirp Ann.* 1998. Vol. 47, № 2. P. 525–540.
3. Nefedova L.A., Ilin I.V. Organizacionnyye osnovy provedeniya NIOKR po razvitiyu additivnogo proizvodstva // *Perspektivy nauki.* № 12(111). 2018. S. 45–48.
4. Ilin I.V., Najdenysheva E.G., Overchuk D.S. Teoretiko-igrovyye modeli soglasovaniya interesov v proektah razvitiya social'noj infrastruktury // *Ekonomika i upravlenie.* 2014. № 2 (100). S. 63–66.
5. Aliakbari M. Additive manufacturing: State-of-the-art, capabilities, and sample applications with cost analysis. 2012.
6. Horn T.J., Harrysson O.L. Overview of current additive manufacturing technologies and selected applications // *Sci. Prog.* 2012. Vol. 95. № 3. P. 255–282.
7. Ilin I.V., Anisiforov A.B. Improving the efficiency of projects of industrial cluster innovative development based on enterprise architecture model // *WSEAS Transactions on Business and Economics.* 2014. T. 11. S. 757–764.
8. Wong K.V., Hernandez A. A review of additive manufacturing // *ISRN Mech. Eng.* 2012. Vol. 2012.
9. Thomas D.S., Gilbert S.W. Costs and cost effectiveness of additive manufacturing // *NIST Spec. Publ.* 2014. Vol. 1176. P. 12.
10. Baumers M. et al. The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push // *Technol. Forecast. Soc. Change.* 2016. Vol. 102. P. 193–201.