

УДК 339.944

Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники

Чумаков Д.М.

Институт мировой экономики и международных отношений

Российской академии наук (ИМЭМО РАН), ул. Профсоюзная, 23, Москва, ГСП-7,

117997, Россия

**e-mail: chumakov.work@mail.ru*

Аннотация

В статье проанализированы современные тенденции развития аддитивных технологий (Additive Manufacturing - AM), применяющихся в аэрокосмической промышленности (АПК) США и Европы. Исследуются исторические аспекты внедрения AM-технологий в авиационную и ракетно-космическую промышленность (АП и РКП) для изготовления гражданской и военной техники (ГТ и ВТ). Рассматриваются различные методы создания технологий, используемые конструкционные материалы и применение их в производстве. Оцениваются и сравниваются с традиционными способами обработки технологические и экономические показатели произведенной продукции. Даются рекомендации для изучения инновационных технологий в рамках российской промышленности.

Ключевые слова: AM-технологии, 3-D принтер, аэрокосмическая промышленность, двигателестроение, авиационная и космическая техника.

На современном этапе промышленной конкуренции основным направлением совершенствования производства является модернизация известных и создание новых технологических процессов.

Ведущую роль при этом играют АМ-технологии или, иначе, технологии послойного синтеза – это создание компьютерной модели будущей детали и получение самого изделия путем послойного добавления материала на специальном оборудовании с использованием различных методов. Подобные технологии позволяют реализовать основные принципы создания материалов нового поколения и представляют собой инновационный подход к проектированию и изготовлению деталей по сравнению с традиционными методами литья и обработки на металлорежущих станках [Справка о развитии аддитивных производственных технологий в Великобритании. Торговое представительство России в Великобритании. Декабрь 2013].

Исторически сложилось, что, изначально, компании, развивающие АМ-технологии, не относились серьезно к использованию их для прямого изготовления серийных изделий, а видели в этом лишь способ «быстрого прототипирования» или упрощение технологического процесса изготовления продукции. Однако к концу 1980х этот способ нашел массовое признание производителей автомобильной промышленности. Так начался интенсивный рост АМ-технологий на мировом рынке инновационных разработок.

Совокупный среднегодовой темп роста рынка АМ-технологий в 2012 году составил 28,6%, в 2013 – 34,9%, тем самым, достигнув максимального уровня за

последние 5 лет развития. В среднем, за 26 лет анализа рынка наблюдается ежегодный устойчивый рост объема продаж мирового рынка АМ-технологий на уровне 27% [Collins F., "Wohlers report 2014 uncovers annual growth of 34.9% for 3D Printing and Additive Manufacturing industry", available at: www.wohlersassociates.com, May 1, 2014]. Статистические данные приведены на рисунке 1 и 2.

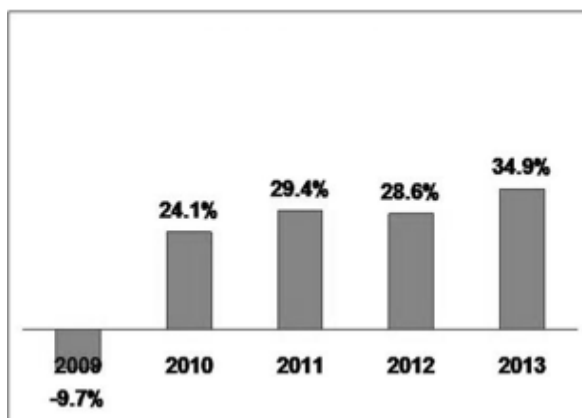


Рис. 1. Совокупный среднегодовой темп роста мирового рынка АМ-технологий, %

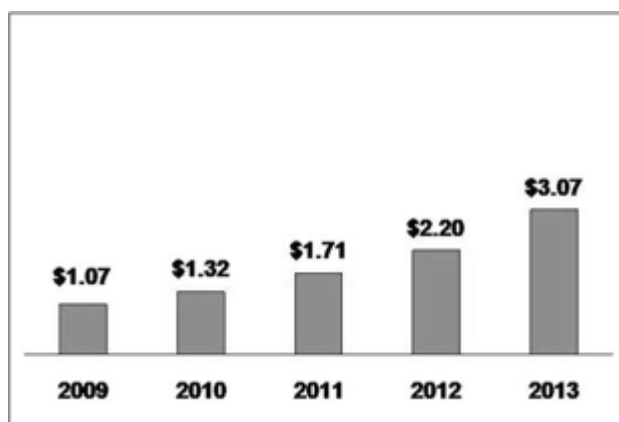


Рис. 2. Объем продаж мирового рынка АМ-технологий, млрд. долл.

Основными видами деятельности компаний на рынке АМ-технологий являются продажа 3-D оборудования, работающего с полимерными материалами и металлами, изготовление продукции и предоставление услуг по ремонту и обслуживанию установок.

Наиболее динамично развивающимся считается направление исследования промышленных материалов и создания на их основе конструкций сложных геометрических форм. Анализ 2012-2013 гг. показывает увеличение количества заказов на металлорежущие 3-D установки. Увеличение объемов составило 75,8%, соответственно с 198 до 348 промышленных установок [Collins F., "Wohlers report 2014 uncovers annual growth of 34.9% for 3D Printing and Additive Manufacturing industry", available at: www.wohlersassociates.com, May 1, 2014].

Особым спросом оборудование пользуется у компаний электроэнергетической, аэрокосмической, автомобилестроительной и здравоохранительной отраслей промышленности, расположенных на территории США, Западной Европы и Азии. В 2013 году на их долю пришлось 67% объема предоставляемых услуг производителями 3-D систем. Области применения по рынкам готовой продукции (отраслям производства) представлены на рисунке 3:

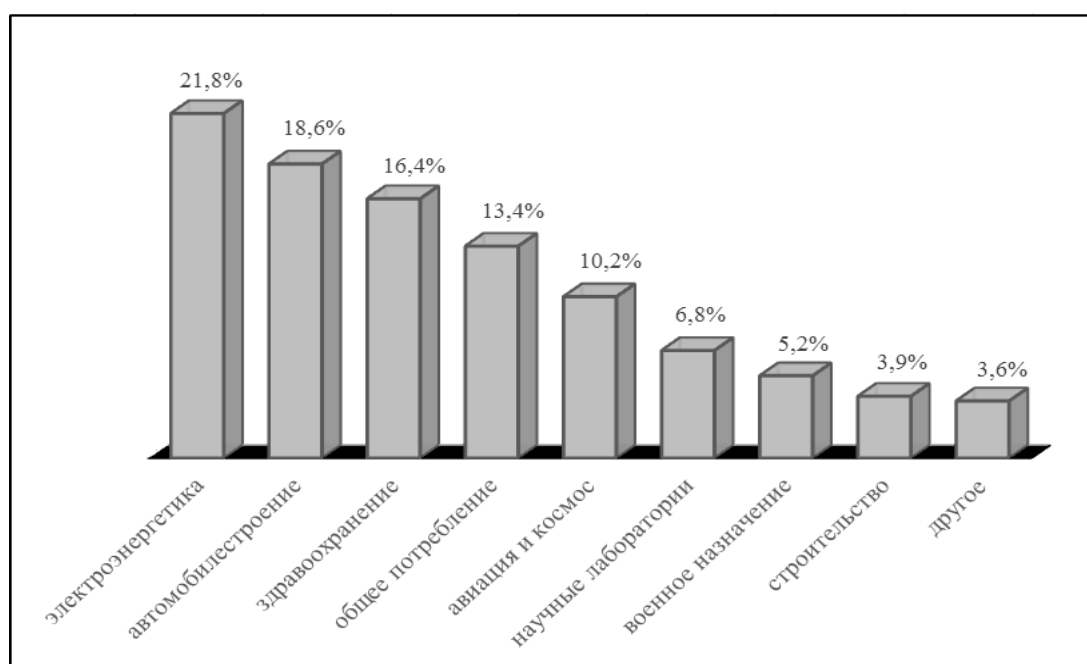


Рис.3 Области внедрения оборудования АМ-технологий

Таким образом, после внедрения соответствующего оборудования был взят курс на развитие АМ-технологии в АПК. В 2004 году образовалось направление по изучению полимерных материалов, а уже в 2011 ученые по всему миру перенесли свое внимание на изучение металлических порошков [Additive manufacturing: opportunities and constraints, Royal Academy of Engineering, May 23, 2013, 5]. С каждым годом исследования в этой области становятся всё серьезнее. Увеличились объемы привлекаемых инвестиций с 9,9 до 12,1% в 2011-2012 гг. [Wohlers report 2013: Additive Manufacturing and 3D Printing state of the industry]. К примеру, космическое агентство Великобритании (UKSA) одним из первых поддержало развитие инновационных методов печати полимерных и металлических конструкций, вложив в исследования 13 млн. фунтов [Dr. Quarshie R., MacLachlan S., Dr. Reeves P., Dr. Whittaker D., Blake R., Shaping our national competency in additive manufacturing, UK AM SIG, September 27, 2012].

АМ-технологии проникают все глубже в аэрокосмические сектора промышленности. Среди крупных направлений отрасли, где применяются технологии, можно выделить спутнико- и двигателестроение. Помимо разработки и ремонта компонентов к научному оборудованию, ведутся работы по созданию деталей для ГТ и ВТ.

Одним из ключевых критериев вложения в НИОКР перспективных АМ-технологий стало снижение затрат на производство комплектующих частей авиационной и космической техники (АТ и КТ). Корпорации Boeing, Lockheed Martin, Airbus Group (ранее EADS) ранее уже делали попытки использовать

инновационные разработки в этой области, но только сейчас стала возможным реализация их потенциала.

1. Впервые о полномасштабном внедрении 3-D печати заявила многоотраслевая корпорация General Electric (GE). После приобретения в 2012 году Morris Technology и ее дочерней компании Rapid Quality Manufacturing, которая изначально сотрудничала с GE Aviation, конгломерат инициировал события, которые привели к серьезным изменениям в промышленности. Индикатором подобных изменений стала реакция биржи на стоимость акций GE, которая по сравнению с аналогичным показателем 2012 года возросла с 19.87 долл. до 23 долл. за акцию. Это привело к тому, что другие производители, такие как Siemens, Mitsubishi, были вынуждены включиться в конкурентную борьбу и последовать за GE, желая сохранить свою долю на аэрокосмическом рынке 3-D печати [1, 19 p.

Michael Molitch-Hou, "AM to Enhance GE Stock?", available at: www.3dprintingindustry.com, August 29, 2013].

2. В 2013 GE провела серьезную работу по продвижению AM-технологий на новый уровень развития. Для этих нужд в подразделении GE Aviation специально была создана лаборатория Additive Lean Lab, которая занялась внедрением аддитивного производства в АПК. К 2016 году лабораторией планируется разработать уникальные двигательные форсунки, изготовление которых будет осуществляться на станках 3-D печати. В свою очередь, деталями оснастят двигатели нового поколения LEAP самолетов Airbus A320 NEO, Boeing 737 MAX and COMAC C919 [1, 20 p.

Interview with Prabhjot Singh of the GE Additive Manufacturing Lab on using 3D Printing in manufacturing, available at: www.voxelfab.com, July 19, 2013]. Среди других направлений деятельности лаборатории можно выделить изучение материалов порошков, программирование функциональной базы, используемой для создания АТ и КТ оборудования.

По словам специалистов GE Aviation, АМ-технологии пользуются повышенным интересом у производителей АТ и КТ. Поэтому, можно ожидать, что в ближайшем будущем половина всех деталей современных авиадвигателей будет изготавливаться при помощи современного оборудования 3-D печати. На рисунке 4 изображена потенциальная номенклатура деталей двигательной установки (ДУ), разработка которой возможна с применением инновационных технологий.



Рис.4 Конструкция ДУ с применением АМ-технологий

Что же касается производителей 3-D принтеров, то их роль стала еще более значимой. Каждая компания-представитель обладает определенными методами создания АМ-технологий (см. Таблица 1), которые значительно ускорили инновационное развитие авиационной и ракетно-космической промышленности.

Можно выделить следующие выгоды АМ-технологий:

- Упрощение процесса производства деталей:
 - Сокращение комплектующих частей создаваемых узлов и агрегатов;
 - Уменьшение количества технологических операций;
 - Исключение из технологического процесса оснастки и дополнительного оборудования;
 - Возможность производства в непосредственной близости от места эксплуатации.
- Автоматизация процесса производства деталей:
 - Сокращение трудоемкости изготовления;

- Сокращение времени изготовления;
- Увеличение точности изготовления;
- Сокращение весовых показателей;
- Унификация используемых материалов;
- Минимизация отходов.
- Особые условия эксплуатации деталей:
 - Длительный срок эксплуатации;
 - Повышенная надежность материалов;
 - Функциональная надежность конструкции;
 - Упрощение ремонта и замены частей деталей.

Методы создания АМ-технологий

Таблица 1 [Dr. Quarshie R., MacLachlan S., Dr. Reeves P., Dr. Whittaker D., Blake R., Shaping our national competency in additive manufacturing, UK AM SIG, September, 2012, pp.8-9, Zhang Shichen, Location Analysis of 3D Printer Manufacturing Industry, Columbia University, May 2014, pp.35-36]

Метод	Технология	Принцип создания	Материал	Компани я	Цена
Экструзия	Моделирование методом послойного наплавления (Fused deposition modeling (FDM))	Подразумевает создание трехмерных объектов за счет нанесения последовательных слоев материала, повторяющих контуры цифровой модели. Как правило, в качестве материалов для печати выступают термопластики, поставляемые в виде катушек нитей или прутков.	Термопластики и композиты, включая ABS, PLA, поликарбонаты, полиамиды, полистирол, лигнин	Stratasys Ltd. (США)	10-300 тыс.\$
Грануляция	Прямое лазерное спекание металлов (Direct metal laser sintering (DMLS))	Подразумевает использование лазера для спекания частиц порошкообразного материала до образования трехмерного физического объекта. Спекание производится за счет вычерчивания контуров, заложенных в цифровой модели. По завершении сканирования рабочая платформа опускается, и наносится новый слой материала. Процесс повторяется до образования полной модели.	1) Порошковые металлы и сплавы, включая нержавеющую сталь, инструментальную сталь, кобальт-хромовые сплавы, титан, алюминий; 2) Керамические порошковые сплавы; 3) Термопластики	EOS GmbH (Германия) Concept Laser GmbH (Германия)	200 тыс.\$ до 1 млн.\$ и более
	Выборочное (селективное) лазерное спекание (Selective laser sintering, SLS))			3D Systems (США)	75-800 тыс.\$

Выборочная (селективная) лазерная плавка (Selective laser melting (SLM))	Аналогично SLS и DMLS, кроме как используется ни частичная плавка, а полное расплавление металла в твердую однородную массу, необходимую для построения монолитных моделей.	SLM Solutions Group AG (Германия)	500 тыс. до 1,5 млн.\$ и более
--	---	-----------------------------------	--------------------------------

3. Нынешним лидером рынка SLM-технологии является немецкая компания SLM Solutions Group AG. Крупными клиентами, использующие продукцию компании в масштабах отрасли, являются NASA, Airbus Group, Space X, GE. В 2013 году было продано 28 промышленных установок на сумму 26 млн. евро, что вывело SLM Solutions на третье место после EOS и Concept Laser [

Kauper J., "SLM Solutions vor dem Börsengang: 3D-Druck made in Germany", available at: www.deraktionaer.de, May 8, 2014].

4. SLM-метод стал широко применяется инженерами NASA в двигателестроении. Его принцип заключается в том, что лазер сплавляет металлический порошок из металла в контур будущей детали. Оборудование работает с металлами и производит готовую продукцию за один технологический процесс [

5. Селективное лазерное спекание. URL: www.foto-business.ru]. Стоимость оборудования для данного метода изготовления, например, передовой установки модели SLM 500 HL, может колебаться от 500 тыс. до 1,5 млн. евро [

Kauper J., "SLM Solutions vor dem Börsengang: 3D-Druck made in Germany", available at: www.deraktionaer.de, May 8, 2014].

При помощи SLM установки был произведен и успешно протестирован инжектор двигателя для ракеты RL-10. Последнее испытание инжектора ракетного двигателя (РД) компании Aerojet Rocketdyne совместно с Научно-исследовательским центром NASA им. Гленна (Кливленд) продемонстрировало внушительные результаты в области AM-технологий.

Месяцем ранее другой центр NASA, Центр космических полётов им. Джорджа Маршалла (Хантсвилл) и компания Directed Manufacturing провели огневые испытания инжектора, разработанного по государственной американской программе сверхтяжёлого ракетносителя (PH) для пилотируемых полетов Space Launch System (SLS). Данное событие имело важное значение, во-первых, потому что был представлен самый большой 3D-печатный компонент РД, состоящий к тому же всего из двух частей, в то время как похожие инжекторы состояли из 115 деталей. Во-вторых, при экстремальных воздействиях были проверены свойства материала инжектора (порошковый сплав никеля и хрома). Во время испытаний через инжектор пропустили жидкий кислород и газообразный водород в камеру сгорания, таким образом, увеличив тягу двигателя в 10 раз (до 9,07 кг) [NASA tests limits of 3-D printing with powerful rocket engine check, available at: www.nasa.gov, August 27, 2013]. Ниже приведены технологические особенности инжектора РД, позволившие получить необходимые результаты испытаний (Таблица 2).

Сравнение методик изготовления детали

Таблица 2

Параметры	3-D печать методом SLM	Традиционные способы обработки
Срок сдачи детали	3 нед. (из них 40 часов на изготовление)	6 месяцев
Количество компонентов детали	1 часть	4 части
Количество спаянных (сварных) соединений	0 спаек	5 спаек
Стоимость детали	5 тыс. долл.	10 тыс. долл.

После ряда положительных испытаний инжектор Directed Manufacturing рассматривается в качестве основной детали на РД J-2X или RS-25, которые

планируется установить на SLS в 2017 году [Hot-fire tests show 3-D printed rocket parts rival traditionally manufactured parts, available at: www.nasa.gov, July 24, 2013].

Другим инновационным подходом создания AM-технологий является метод прямого лазерного спекания металла (DMLS), разработанный крупнейшей компанией EOS. Объект в установке формируется из порошкового металла путем его плавления под действием лазерного излучения. DMLS минимизирует затраты времени разработки новых продуктов. Исследования европейского аэрокосмического концерна Airbus Group также указывают на снижение себестоимости и отходов при использовании технологии DMLS для производства конструкций сложной геометрической формы в единичных экземплярах или мелкими партиями.

Значительных успехов в применении метода создания технологии достигла компания Space Exploration Technologies Corp. (SpaceX), изготовившая с его помощью камеру двигателя SuperDraco многократного космического корабля (КК) Dragon. Именно особенности DMLS позволили РД произвести до 7257,48 кг тяги, что обеспечит КК маневренностью и точностью управления на орбите и во время прохождения через атмосферу Земли [Shane Taylor, "SpaceX uses 3D printing to reach for the stars", available at: www.3dprintingindustry.com, June 3, 2014].

Преимущества новых AM-технологий по сравнению с традиционными производственными методами достаточно. Помимо выше перечисленных к ним в том числе можно отнести легкость, жаропрочность/-стойкость и экологичность получаемых деталей. Эти качества являются приоритетными для компаний Snecma

и GE Aviation при создании новейшего двигателя LEAP. Напечатанные на принтере комплектующие части получаются настолько лёгкими и обтекаемыми, что, как следствие, приводит к более экономному расходу топлива (на 15%) и снижению уровня загрязнения окружающей среды (на 3%). Исследования ученых Института физики атмосферы космического агентства Германии (IAP DLR) показали, что подобное сокращение выбросов в атмосферу сэкономит авиакомпаниям до 1 млн. долл. ежегодно. Помимо этого, при печати деталей планируется использовать новый керамический композиционный материал, который позволит не тратить энергию на охлаждение двигателя и будет способствовать работе при более высоких температурах [Michael Molitch-Hou, "Can 3D printed jet engine parts save us from global warming?", available at: www.3dprintingindustry.com, May 31, 2013].

Метод DMSL активно используется в сегменте спутникостроения. Инженеры Airbus Defence and Space (подразделения Airbus Group) успешно применили метод для оптимизации конструкции кронштейнов, связывающих корпус спутника с солнечными батареями и радиоантеннами. Созданные на установке EOSINT M 280 компании EOS детали соответствовали требуемым техническим условиям: выдерживать сильное напряжение на конструкцию (до 20 кН) и температуру (-180°C до $+150^{\circ}\text{C}$). В дополнении к техническим характеристикам, процесс использования 3-D печати на 20% сократил расходы на производство и трудоёмкость изготовления кронштейнов [Aerospace: advanced manufacturing process by EOS optimizes satellite technology, available at: www.eos.info]. В Таблице 3 представлены аргументы в пользу полномасштабного внедрения AM-технологий на примере производства кронштейнов компанией Airbus Defence and Space.

Компанией RedEye были изготовлены топливные баки для спутников Lockheed Martin Space Systems. С применением 3-D технологий напечатаны 10 частей для 2 м и 6 частей для 1,2 м испытательных баков. На изготовление было затрачено 250 тыс. долл., что в половину меньше традиционного производства компонентов [Debra Werner, "Additive Manufacturing Reaching Critical Mass", available at: www.spacenews.com, May 26, 2014].

Преимущества АМ-технологий

Таблица 3

Экономия	Применение АМ-технологий
Трудоемкость работ	Технология позволяет сократить время изготовления 3 деталей до 1 месяца, а время сборки со смежными компонентами - на 5 дней
Расходы на производство	Вместо ряда традиционных операций обработки можно создавать деталь в одном технологическом действии
	Вес напечатанной детали на 300 г легче традиционной конструкции, что дает почти 1 кг экономии для целого спутника
Издержки при эксплуатации	Напечатанные из порошка титана детали с большей вероятностью сохраняют находящееся на спутнике оборудование от возможных сбоев

Развитием инновационных технологий интересуются не только отдельно взятые компании. Как показывает практика, интерес к 3-D печати получил статус государственного значения в мире, поэтому каждое космическое агентство считает стратегически необходимым использовать его в производстве космической техники (КТ). Европейское космическое агентство (ESA) объявило о запуске проекта AMAZE, целью которого является печать на 3D-принтере металлических частей для космических кораблей, двигателей самолётов и ракет. Наиболее амбициозной целью проекта является создание космического спутника, собранного полностью из

распечатанных комплектующих [Британия решила создать государственный центр 3D-печати, Деловая газета «Взгляд», URL: www.vz.ru, 16 января 2014].

В августе-сентябре 2014 года прорывом для США стал запуск компактного 3-D принтера компании Made In Space на Международную космическую станцию (МКС), при помощи которого планируется создание деталей КТ в условиях невесомости. По мнению специалистов, 3D-принтер способен изготовить прямо на орбите до 30 процентов запчастей. А если учесть, что вывод на орбиту 1 кг полезного груза в среднем обходится в 12-25 тыс. долл., то устройство не только упростит пребывание экипажа на орбите, но и удешевит сами космические полеты [19].

6. Помимо гражданской продукции, существующие сегодня AM-технологии 3D-печати считаются достаточно надежными, чтобы использоваться в военных целях. В частности, в январе 2014 года совершил первый полет истребитель Tornado GR4 военно-воздушных сил (ВВС) Великобритании, на который были установлены несколько напечатанных на 3-D принтере металлических деталей компании Rolls-Royce. Испытания, которые проводились BAE Systems, были признаны успешными. В перспективе часть запчастей для британских истребителей планируется производить подобным способом серийно. По оценке министерства обороны (МО) Великобритании, применение на истребителях типа Tornado 3-D деталей позволит сэкономить до 1,2 млн. фунтов стерлингов за четыре года [

Сычев В. "И чтец, и жнец", URL: www.lenta.ru, 08 июля]

В последние годы аэрокосмические компании находятся в поисках более дешевых и быстрых способов производства технологически важных частей для летательных аппаратов, таких как защитные крышки и решетки для оборудования, поддерживающие стойки внешних элементов корпуса, лонжероны, защитные покрытия кабин и многое другое. Данная особенность стратегически необходима в чрезвычайных ситуациях. Так, в мае 2014 года понадобилась незамедлительная замена элементов передней стойки шасси штурмовика AV-8B Harrier ВВС США, совершившего экстренную посадку на палубу авианосца Bataan. В короткие сроки совместными усилиями инженеров базы морской пехоты в Северной Каролине и техников корабля были произведены и заменены все необходимые детали самолета, что стало возможным благодаря использованию АМ-технологий [Michael Molitch-Hou, "After impressive emergency landing, Harrier Jet requires tender 3D printed care", available at: www.3dprintingindustry.com, August 23, 2014].

Первопроходцем в области создания деталей к военной технике, является компания Stratasys Ltd. (США). Цифровые материалы Stratasys PolyJet [Aerospace, Stratasys Ltd., available at: www.stratasys.com] позволяют инженерам и дизайнерам таких компаний оборонно-промышленного комплекса (ОПК), как Boeing, Lockheed Martin, BAE Systems задавать точные характеристики детали.

Запатентованная компанией технология послойного наложения расплавленной полимерной нити или моделирования методом послойного наплавления (Fused Deposition Modeling — FDM) позволяет использовать материалы производственного класса, в том числе высокоэффективные термопластики PC и ULTEM 9085, для жестких функциональных испытаний прототипов или деталей, которым необходимо

выдерживать воздействия химических веществ и экстремальных температур [Aerospace, Stratasys Ltd., available at: www.stratasys.com].

К основным преимуществам системы FDM относятся:

- ✓ Скорость;
- ✓ Универсальность:
- Технологический процесс:
 - Внедрение изменений с минимальными затратами;
 - Проектирование на основе функциональных потребностей;
- Использование различных материалов;
- Одновременное изготовление нескольких деталей;
- ✓ Простота в обслуживании;
- ✓ Экологичность.

Среди продукции, созданной по данной технологии, особо важной для ОПК считается изготовление боевых беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и учебных «дронов» для подготовки персонала ВВС и всех подразделений МО США. К конкретным примерам относятся разрабатываемые кронштейны видеокамер для наступательных БЛА Taranis компании BAE Systems [Brendan McGarry, "BAE brings 3-D printing to warplanes", available at: www.defensetech.org, July 18, 2014], антенны от подразделения Trainer Development Flight базы ВВС США Sheppard и «дроны» двойного назначения RDASS 4 компании Leptron [Bird's eye view, Stratasys Ltd., available at: www.stratasys.com], Samarai корпорации Lockheed Martin [Lockheed Martin unveils Samarai flyer at unmanned vehicle conference, Lockheed Martin news,

available at: www.lockheedmartin.com, August 16, 2011]. В итоге внедрения АМ-технологий по указанным военным инновационным разработкам были получены следующие результаты (Таблица 4).

Результаты по внедрению АМ-технологий в производство RDASS 4

Таблица 4

Метод	Расходы	Время изготовления
Литье под давлением с ЧПУ	\$250,000	14 месяцев
FDM станок	\$103,000	8 месяцев
Экономия	\$147,000 (59%)	6 месяцев (43%)

Как показали исследования иностранных компаний, на сегодняшний день в сфере развития АМ-технологий были достигнуты значительные успехи. Слаженная система взаимодействия высшей школы, академической и отраслевой науки и управление процессом со стороны государства гарантирует целенаправленное возникновение в будущем научно-исследовательских лабораторий, консорциумов, инвестиционных фондов. Всего за несколько лет в АПК США и Европы произошел новый технологический прорыв, который невозможно было бы представить без необходимых управленческих решений и финансовой поддержки государственно-частного партнёрства.

В российской промышленности АМ-технологии пока не нашли достаточного практического применения, поэтому степень использования АМ-технологий в мире может служить лишь вектором инновационного развития для АП и РКП. По данным ежегодного отчета по АМ-технологиям компании Wohlers Associates, Corp. на долю России на мировом рынке в 2012-2013 гг. приходилось порядка 1,4% [Dr. Quarshie

R., MacLachlan S., Dr. Reeves P., Dr. Whittaker D., Blake R., Shaping our national competency in additive manufacturing, UK AM SIG, September 27, 2012, 19]. Среди отечественных игроков можно выделить серьезные намерения только у ФГУП «ВНИИАМ», продвигающиеся в создании композиционных материалов нового поколения.

Несмотря на значительный рост финансирования данного направления в мире, внимания со стороны отечественных государственных заказчиков на внутреннем рынке проекты научно-исследовательских институтов и предприятий не получили. У России, несомненно, есть потенциал к развитию АМ-технологий, ведутся фундаментальные и фундаментально-ориентированные исследования институтами РАН, однако без должного вмешательства государства они, по-прежнему, будут ограничиваться лабораторными исследованиями, которые, в свою очередь, не будут носить системного характера.

Для масштабного внедрения АМ-технологий в производство России необходимо решить следующие проблемы:

1. Поднять вопросы управления на государственном уровне;
2. Спланировать институциональную систему развития технологий;
3. Инвестировать в фонды, программы, финансировать проекты, гранты;
4. Разработать программы обучения персонала работе на сложном многопрофильном оборудовании;
5. Сформировать нормативную базу (программы развития, стандарты качества, документооборот);
6. Наладить производство сырья, металлических порошков сплавов;

7. Создать основание для развития производственной номенклатуры оборудования или приобретения функционала за рубежом;

8. Организовать кооперацию с иностранными партнерами, участвовать в международных организациях.

Библиографический список

7. Справка о развитии аддитивных производственных технологий в Великобритании. Торговое представительство России в Великобритании. Декабрь 2013. URL http://prom.tularegion.ru/netcat_files/7645/9712/h_8ef5b02124b06204264e9a6a6ac00b0a.
8. Collins F., "Wohlers report 2014 uncovers annual growth of 34.9% for 3D Printing and Additive Manufacturing industry", available at: www.wohlersassociates.com, May 1, 2014.
9. Additive manufacturing: opportunities and constraints, Royal Academy of Engineering, May 23, 2013, 5 p.
10. Wohlers report 2013: Additive Manufacturing and 3D Printing state of the industry (executive summary), Wohlers Associates, Inc.
11. Dr. Quarshie R., MacLachlan S., Dr. Reeves P., Dr. Whittaker D., Blake R., Shaping our national competency in additive manufacturing, UK AM SIG, September 27, 2012, 19 p.
12. Michael Molitch-Hou, "AM to Enhance GE Stock?", available at: www.3dprintingindustry.com, August 29, 2013.

13. Interview with Prabhjot Singh of the GE Additive Manufacturing Lab on using 3D Printing in manufacturing, available at: www.voxelfab.com, July 19, 2013.
14. Dr. Quarshie R., MacLachlan S., Dr. Reeves P., Dr. Whittaker D., Blake R., Shaping our national competency in additive manufacturing, UK AM SIG, September, 2012, pp.8-9.
15. Zhang Shichen, Location Analysis of 3D Printer Manufacturing Industry, Columbia University, May 2014, pp.35-36.
16. Kauper J., "SLM Solutions vor dem Börsengang: 3D-Druck made in Germany", available at: www.deraktionaer.de, May 8, 2014.
17. Селективное лазерное спекание. URL: www.foto-business.ru.
18. NASA tests limits of 3-D printing with powerful rocket engine check, available at: www.nasa.gov, August 27, 2013.
19. Hot-fire tests show 3-D printed rocket parts rival traditionally manufactured parts, available at: www.nasa.gov, July 24, 2013.
20. Shane Taylor, "SpaceX uses 3D printing to reach for the stars", available at: www.3dprintingindustry.com, June 3, 2014.
21. Michael Molitch-Hou, "Can 3D printed jet engine parts save us from global warming?", available at: www.3dprintingindustry.com, May 31, 2013.
22. Aerospace: advanced manufacturing process by EOS optimizes satellite technology, available at: www.eos.info.
23. Debra Werner, "Additive Manufacturing Reaching Critical Mass", available at: www.spacenews.com, May 26, 2014.

24. Британия решила создать государственный центр 3D-печати, Деловая газета «Взгляд», URL: www.vz.ru, 16 января 2014.
25. Ячменникова Н., «Российская газета», URL: www.rg.ru, 14 мая 2014.
26. Сычев В. "И чтец, и жнец", URL: www.lenta.ru, 08 июля 2014.
27. Michael Molitch-Hou, "After impressive emergency landing, Harrier Jet requires tender 3D printed care", available at: www.3dprintingindustry.com, August 23, 2014.
28. Aerospace, Stratasys Ltd., available at: www.stratasys.com.
29. Brendan McGarry, "BAE brings 3-D printing to warplanes", available at: www.defensetech.org, July 18, 2014.
30. Bird's eye view, Stratasys Ltd., available at: www.stratasys.com.
31. Lockheed Martin unveils Samarai flyer at unmanned vehicle conference, Lockheed Martin news, available at: www.lockheedmartin.com, August 16, 2011.