

Рис. 3. Зависимости выхода продуктов разложения ОДШ от режимных параметров процесса:  
1 – углистые частицы; 2 – пиролизная жидкость;  
3 – неконденсированный газ

#### Список литературы:

1. Тунцев Д.В., Исследование процессов термокондуктивного разложения отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, М.Р. Хайруллина, А.Р. Садртдинов, Э.К. Хайруллина, И.С. Романчева // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 20. – С. 185-187.
2. Тунцев Д.В., Утилизация отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, М.Р. Хайруллина, С.В. Китаев, Э.Р. Хайруллина // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2017. – Т. 21. – № 2. – С. 70-75.
3. Тунцев Д.В., Ресурсосберегающая технология утилизации отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, М.Р. Хайруллина // Деревообрабатывающая промышленность. – 2015. – № 3. – С. 52-54.
4. Грачев, А.Н. Технология быстрого пиролиза при энергетическом использовании низкокачественной древесины / А.Н. Грачев, В.Н. Башкиров, И.А. Валеев, Р.Г. Хисматова, А.А. Макаров, Д.В. Тунцев // Энергетика Татарстана. – 2008. – № 4 (12). – С. 16-20.

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Я.Ю. Малькова, студ., А.П. Соколов, к.т.н., доц.  
Томский политехнический университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина 30, тел. (3822)-60-63-06  
E-mail: yamalkova96@gmail.com

**Аннотация:** в статье проанализировано современное состояние аддитивных технологий. Проведена систематизация аддитивных технологий в зависимости от используемых материалов и способов их обработки. Определены основные этапы производственного процесса с применением аддитивных технологий. Приведены доли аддитивных технологий в промышленном производстве ведущих мировых держав. Обобщены достоинства и недостатки аддитивных технологий, сформулированы перспективные направления их дальнейшего развития.

**Abstract:** this article was focused on analysis of the current state of the additive technologies. The systematization of additive technologies depending on the used materials and methods of their processing

was carried out. The main stages of the production process using additive technologies are determined. The shares of additive technologies in the industrial production of the leading world powers were defined. Based on this, the pros and cons of additive technologies are summarized, promising directions for their further development are formulated.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, систематизация, технологический процесс, перспективы.

**Keyword:** additive technologies, systematization, technological process, prospects.

Аддитивные технологии (АТ) – это технологии, предполагающие создание изделия по данным цифровой 3D-модели методом послойного наращивания [1].

АТ имеют широкий спектр применения от сферы промышленного производства и проектирования до образовательной деятельности и оказания медицинских услуг. В частности, целью применения АТ в промышленности является создание более дешевой, надежной и качественной продукции при использовании новых материалов и методов их обработки [2].

В настоящее время в качестве расходного материала аддитивные системы, главным образом олицетворяемые с технологией 3D-печати, используют различные полимерные материалы, композитные порошки, металлы, керамику и др.

Информация об АТ, встречающаяся в открытых источниках, доступных широкому кругу людей, иногда содержит полностью или частично недостоверные сведения. Например, информация о реактивном двигателе, полученном с использованием АТ [3], конструктивный анализ которой показывает, что в данном случае был изготовлен лишь макет реактивного двигателя, пригодный для его натурной демонстрации.

Целью проведения настоящей работы является системное и тезисное изложение основ АТ, позволяющее начинающим исследователям АТ получить объективное представление о данном виде технологий и на его основании в дальнейшем проводить критический анализ информации, находящейся в открытом доступе.

В соответствии с природой и агрегатным состоянием расходного материала, а также методом его обработки выделяют следующие виды АТ [4].

Во-первых, технология отвердевания жидкостей, предполагающая затвердевание тонких слоев фотополимера под действием лазера или ультрафиолетового излучения: Stereolithography Apparatus – селективное отвердевание жидкого фотополимера под действием лазера в баке, Direct Light Processing – селективное отвердевание жидкого фотополимера под действием ультрафиолетового излучения в баке [5], Material Jetting (Polyjet Matrix) – отвердевание жидкого полимера под действием ультрафиолетового излучения при нанесении на плоскость построения, Multi Jet Modeling – аналог технологии Polyjet Matrix, однако в данном случае возможно нанесение разных материалов в процессе создания одного объекта.

Во-вторых, технология экструзии расплавленных материалов, предполагающая нагрев полимерной нити, ее расплавление, осаждение и последующее отвердевание для формирования очередного слоя – Fused Deposition Modelling [6]. Также нередко встречаются другие названия данной технологии: Plastic Jet Printing, Fused Filament Fabrication, Thermoplastic Extrusion и др. В качестве материалов используются различные виды пластмасс.

В-третьих, порошковые технологии, основанные на выборочном склеивании порошкового материала – Binder Jetting и на выборочном спекании порошкового материала – Selective Laser Sintering [6]. Binder Jetting заключается в равномерном нанесении порошка на плоскость построения и его последующем выборочном склеивании посредством нанесения связующего вещества печатной головкой. Материальная база данного метода – металлический и пластиковый порошки, силикаты. Selective Laser Sintering является альтернативой склеиванию, основан на выборочном спекании порошка лазером. В качестве расходного материала используются порошковые материалы, в частности, воск, полистирол, керамика, нейлон, металлические сплавы (Direct Metal Laser Sintering) и др.

Выделим основные этапы технологического процесса реализации АТ вне зависимости от выбранного материала и метода его обработки (рис. 1). Первым этапом является создание 3D-модели с использованием специализированного программного обеспечения на соответствующей вычислительной технике. Затем осуществляется загрузка полученной модели в систему 3D-принтера



Рис. 1. Этапы создания изделия при помощи АТ

и его настройка в соответствии с желаемым результатом в критериях точности и скорости получения готового изделия. После чего, в ряде случаев, готовое изделие подвергается финишной обработке.

АТ активно внедряются в производственные процессы с целью их рационализации, получения уникального продукта, а также для обеспечения конкурентоспособности на рынке. Для ведущих мировых держав характерна реализация значительной доли промышленного производства посредством аддитивных технологий (рис. 2). В России же в настоящее время аддитивное производство присутствует только в потребительском секторе, однако правительством ставится задача о внедрении АТ в той или иной мере в оборонном и промышленном производстве [7].

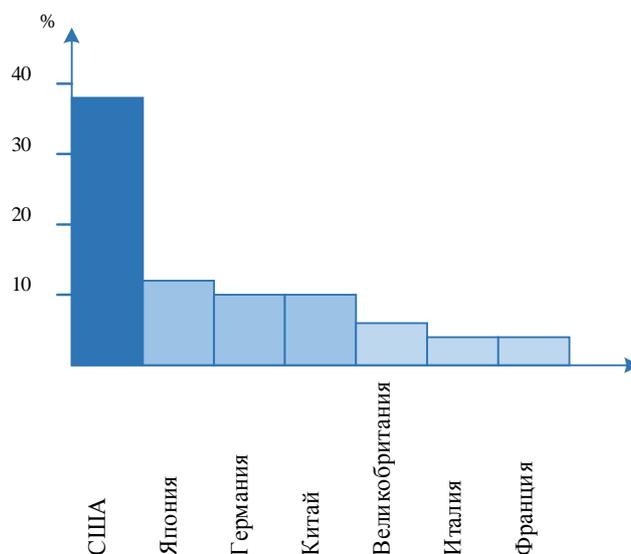


Рис. 2. Доли аддитивного производства в ведущих странах [7]

Определим основные преимущества и недостатки применения АТ в производственном процессе.

К преимуществам АТ следует отнести: реализацию технологического процесса в минимальные сроки и с минимальными затратами относительно традиционного производства, получение изделий любой формы и геометрии, создание изделия за одну технологическую операцию, а также мобильность и ускоренный обмен данными ввиду работы с виртуальным объектом на первых двух стадиях реализации АТ (рис. 1).

Среди основных недостатков АТ следует выделить: высокую стоимость программного обеспечения и расходных материалов, сложность обслуживания соответствующего оборудования и поддержания его работоспособности, нехватку квалифицированного персонала, владеющего современными системами моделирования на достаточно высоком уровне [8], а также необходимость финишной обработки полученных изделий.

Развитие АТ в их совокупности предполагает совершенствование технологии 3D-печати, в частности, уменьшение времени изготовления детали при сохранении заданной точности. Точность определяется минимальным размером используемого материала – диаметром гранулы. Чем выше точность, тем меньше диаметр. При необходимости повышения точности в два раза следует уменьшить минимальный размер в аналогичное число раз. Соответственно, для получения изделия того же объема потребуется в восемь раз больше гранул. Время изготовления данного изделия также увеличится в восемь раз. Выведенную зависимость можно проиллюстрировать эмпирической формулой

$$T = \frac{k}{D^3},$$

где  $T$  – время печати,  $D$  – диаметр гранулы,  $k$  – переводной коэффициент.

Рассмотренные виды АТ по типу физического процесса можно классифицировать следующим образом (рис. 3).

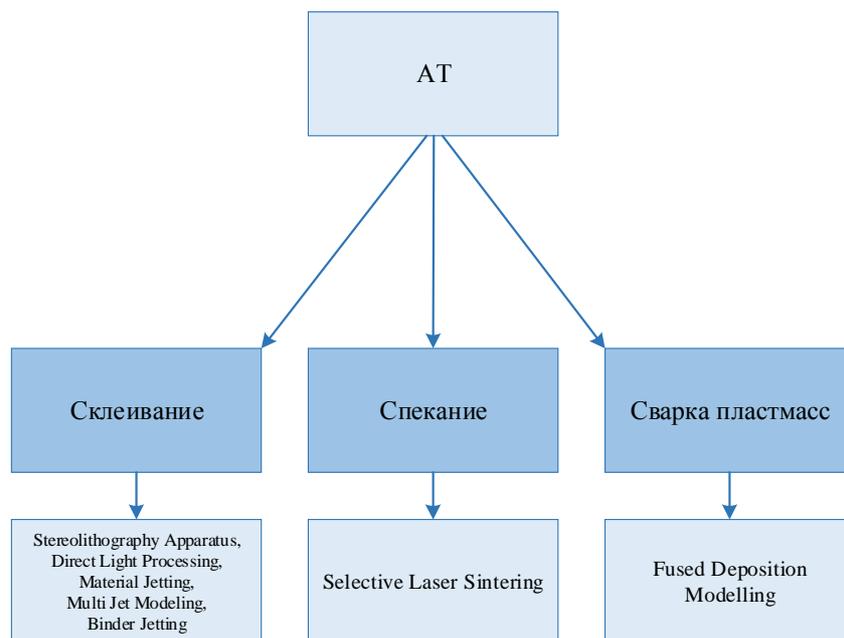


Рис. 3. Классификация AT

На основании предложенной классификации обозначим актуальные проблемные вопросы AT и сформулируем перспективы их дальнейшего развития.

При описании некоторых видов AT нередко встречаются сведения об использовании металлических порошков в качестве расходного материала, в то же время комментарии относительно содержания технологии послойного наращивания данного материала, как правило, отсутствуют. Элементарной частью порошка является гранула. Соединение металлических гранул друг с другом возможно посредством сварки или спекания лазером. Микросварке свойственен основной круг проблем, характерный для обычной сварки, главной из которых является термодеструкция детали. Результат термодеструкции наблюдается тем больше, чем меньше толщина свариваемых деталей. В соответствии с данным рассуждением, можно выделить такую проблему AT на основе сварки, как достижение требуемой точности тонкостенных деталей. AT на основе спекания металлических порошков реализуются при достаточно высоких температурах в жидкой или твердой среде. Для данной технологии характерна аналогичная проблема – изготовление тонкостенных деталей со строго выдержанной формой.

Информация о гальванопластике не получила широкого распространения в открытых источниках. Данную технологию следует также отнести к AT, так как при ее реализации процесс образования формы детали аналогичен выделенным выше основным видам AT – методом послойного наращивания. Гальванопластика, в свою очередь, вполне могла бы стать перспективным направлением развития AT, так как в данном случае отсутствуют ограничения, связанные с явлением термодеструкции, и теоретически точность детали определяется размерами атомов металла.

Анализ литературы, посвященной теории и практике применения AT, показал, что на сегодняшний день имеет место стремительное развитие AT, позволяющих создавать детали эксклюзивной формы. В частности, в медицине с помощью AT получают протезы костей, в архитектуре – объемные модели объектов интерьера и экстерьера [9, 10]. В искусстве AT позволяют облегчить труд скульптора, деятельность которого может быть представлена следующим рядом технологических операций: сканирование модели, создание виртуального образа и 3D-печать скульптуры [12, 13].

В соответствии с изложенным, можно сделать вывод о том, что развитие AT предполагает дальнейшее совершенствование программных продуктов виртуального моделирования, подготовку высококвалифицированных кадров для извлечения всего имеющегося потенциала данных программ, усложнение технологического оборудования с целью повышения точности изготавливаемых изделий и уменьшения времени, затрачиваемого на данный процесс, а также расширение материальной базы, используемой одновременно при создании одного изделия. В настоящее время AT наиболее успешно применяются при создании деталей эксклюзивной формы. В свою очередь, одним из актуальных

проблемных вопросов АТ является получение тонкостенных деталей требуемой точности со строго выдержанной формой. При этом, стоит отметить, что сокращение времени изготовления детали может быть достигнуто за счет гармоничного синтеза АТ и традиционных технологий.

Список литературы:

1. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. СПб. – 2013. – 223 с.
2. Ключко А.Д., Гареева Г.А., Григорьева Д.Р. Аддитивные технологии и эффективность их использования в производстве // Символ науки. – 2018. – № 1-2. – С. 27-29 [Электронный ресурс]: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_32562594\\_43621957.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_32562594_43621957.pdf) (дата обращения: 07.04.2019).
3. На 3D-принтере впервые напечатали реактивный двигатель [Электронный ресурс]: <https://lenta.ru/news/2015/02/26/jetprinted> (дата обращения: 09.04.2019).
4. Баяева Л.С., Маринин А.А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов // Вестник МГТУ. – 2014. – № 1. – Т. 17. – С. 7-12 [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/v/sovremennye-tehnologii-additivnogo-izgotovleniya-obektov> (дата обращения: 07.04.2019).
5. Heynick M., Stotz I. 3D CAD, CAM and rapid prototyping. – 2000, 20 p. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.net/9035458-3d-cad-cam-and-rapid-prototyping-by-mitch-heynick-and-ivo-stotz.html> (дата обращения: 07.04.2019).
6. Lukkassen D., Meidell A. Advanced materials and structures and their fabrication processes. – 2007, 255 p. [Электронный ресурс]: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.124.6721&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 07.04.2019).
7. Спрукуль В.О. Внедрение аддитивных технологий // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – № 13. – Т. 3. – С. 304-306 [Электронный ресурс]: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_32538997\\_96577432.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_32538997_96577432.pdf) (дата обращения: 07.04.2019).
8. Булатов А.А., Лаухин Ф.М., Капранов Н.Н. Аддитивные технологии в образовательном процессе будущего инженера // Наука и образование транспорту. – 2017. – № 2. – С. 183-184 [Электронный ресурс]: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_32635378\\_17727181.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_32635378_17727181.pdf) (дата обращения: 07.04.2019).
9. Анисимова А.О., Шатохин А.Е. Оптимизация процесса проектирования дизайн-проекта // Труды Академии технической эстетики и дизайна. – 2018. – № 1. – С. 8-12 [Электронный ресурс]: <http://academy-tad.ru/m.files/2018%20No%201.pdf> (дата обращения: 14.04.2019).
10. Кухта М.С., Соколов А.П., Сокур К.С. Художественно-проектные решения и современные технологии арт-объектов средового дизайна // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 6. – С. 177-181 [Электронный ресурс]: [https://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin\\_TPU/2011/v319/i6/37.pdf](https://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin_TPU/2011/v319/i6/37.pdf) (дата обращения: 14.04.2019).
11. Игисенов Б.К., Касутин В.Е., Выблов К.В. Аддитивные технологии в машиностроении // Вестник современных исследований. – 2017. – № 11-1 (14). – С. 202-206 [Электронный ресурс]: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_32276994\\_44701363.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_32276994_44701363.pdf) (дата обращения: 07.04.2019).
12. Кухта М.С., Дронов В.В. Автоматизированное варьирование параметров виртуальной модели как инструмент промышленного дизайнера // Дизайн. Материалы. Технология. – 2010. – № 1 (12). – С. 106-111.
13. Соколов А.П. Манипулятор в дизайне // Труды Академии технической эстетики и дизайна. – 2014. – № 1. – С. 26-30 [Электронный ресурс]: <http://academy-tad.ru/m.files/2014%20No%201.pdf> (дата обращения: 14.04.2019).

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА АКТИВАЦИИ

*Р.Г. Сафин д.т.н., проф., Д.Р. Гумеров магистр., Т.О. Степанова асп.*

*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

*420015 г. Казань, ул. Карла Маркса 68, тел. +7(843)231-41-57*

*E-mail: gdr96@yandex.ru*

**Аннотация:** в рамках разработки эффективной технологии производства активированного угля, обеспечивающей определение требуемых оптимальных режимов процесса при максимальном выходе продукта и минимальных затратах энергетических ресурсов, собрана экспериментальная установка для активации древесного угля, получение на выходе активированного угля с большой удельной поверхностью и большим объемом пор, обладающим большей адсорбционной способностью и проведены исследования.