

**Разработка модельно-методического аппарата оценки эффективности  
аддитивного производства**

**Научный руководитель – Рипецкий Андрей Владимирович**

***Жданова Виктория Андреевна***

*Студент (магистр)*

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Москва, Россия

*E-mail: zhdavian@gmail.com*

Аддитивное производство различных компонентов и деталей может быть экономически выгодным решением для многих компаний в сравнение с традиционными методами производства. Тем не менее, есть несколько факторов стоимости, которые следует учитывать при ответе на вопрос, является ли серийное производство экономически выгодным или нет. Поскольку структура цены в традиционном и аддитивном производственных процессах иногда существенно различаются, факторы, влияющие на стоимость производства, необходимо тщательно сопоставлять друг с другом.

При рассмотрении общей структуры цены аддитивного производства становится очевидно, что она в значительной степени определяется затратами на эксплуатацию и обслуживание оборудования, за которыми следуют затраты на материалы, используемые для производства деталей, а также трудозатраты на предварительную подготовку к печати и последующую обработку готовых деталей. Другими факторами, такими как затраты на энергию, можно пренебречь в общей структуре затрат, так как в общей структуре цены они составляют незначительную часть.

Машины для выборочного лазерного спекания (SLS) и лазерного плавления (SLM) являются очень дорогостоящими в покупке и дальнейшей эксплуатации. Стоимость процессов лазерного спекания и плавления часто сравнивают со стоимостью традиционных производственных процессов с интенсивным использованием инструментов, таких как литье под давлением, или с процессами механической обработки, такими как фрезерование с ЧПУ. В зависимости от процесса и формы детали переменные затраты на аддитивное производство могут быть в пять-пятьдесят раз выше, чем на традиционное производство, например, при переработке полимеров и металлов.

Несмотря на более высокие переменные затраты, использование аддитивных процессов в производстве может быть экономически выгодным. Для традиционных технологий производства постоянные затраты распределяются только на конкретные виды оборудования. Например, матрицу можно использовать только при литье под давлением для изготовления конкретного продукта, для которого она была разработана. Соответственно, стоимость пресс-формы должна окупаться с точки зрения количества произведенных деталей. Затраты на настройку станка или замену инструмента на литьевой машине должны быть распределены по количеству деталей, произведенных в этой производственной партии, до следующей настройки. Если производится только несколько единиц деталей или небольшие серии деталей, постоянные затраты могут превышать переменные затраты. Это делает аддитивное производство более рентабельным, чем производство с использованием традиционных процессов.

Аддитивное производство также включает в себя определенную степень постоянных затрат, но эти затраты легче компенсировать количеством различных деталей, которые производятся в одной партии. Таким образом, фактические затраты на кубический сантиметр в аддитивном производстве деталей зависят от комбинации технических параметров

и условий эксплуатации оборудования, так как изменяя параметры оборудования, операторы могут снизить общие затраты на аддитивное производство. А поскольку оборудование для лазерного спекания и лазерного плавления очень дорогостоящее, то производительность такого оборудования является критическим параметром, который влияет на общие затраты на аддитивное производство.

Если посмотреть на процесс SLS, то фактическое время производства, то есть период, который определяется исключительно временем работы оборудования и не зависит от оператора, составляет от 90% до 95% общего времени цикла аддитивного производства. Время производства состоит из предварительного нагрева оборудования, создания деталей в камере и охлаждения. Периоды, необходимые для предварительного нагрева и охлаждения, в основном постоянны для каждого процесса аддитивного производства и зависят от параметров соответствующего оборудования, в том числе от размера камеры печати. Фактическая фаза создания деталей занимает от 60% до 70% производственного времени, в зависимости от оборудования и используемого объема камеры для изготовления детали. При нормальной работе 50% времени аддитивного производства составляет плавление и 50% - нагрев/нанесение новых слоев порошка. Эти цифры, как правило, также применимы к процессу SLM, хотя в некоторых случаях проценты значительно различаются, поскольку плавление металлического порошка происходит намного медленнее.

Таким образом, существует ряд факторов, влияющие на стоимость и время изготовления деталей методами аддитивного производства, а также способов с помощью которых возможно оценить целесообразность применения аддитивного производства в сравнение с традиционными методами изготовления деталей. А в случае применения аддитивного производства - появляется возможность минимизировать общие затраты на изготовление компонентов и деталей.