

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кожиев А.Ю. Экономические последствия 3d-печати. Пересмотр моделей рыночной структуры // Human Progress. 2024. Том 10, Вып. 6. С. 6. URL: http://progress-human.com/images/2024/Tom10_6/Kozhiev.pdf DOI 10.46320/2073-4506-2024-6a-19.

УДК 332.1

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ 3D-ПЕЧАТИ. ПЕРЕСМОТР МОДЕЛЕЙ РЫНОЧНОЙ СТРУКТУРЫ

Кожиев Александр Юрьевич

аспирант

Факультет бизнес-информатики и управления комплексными системами,

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Аддитивные технологии в настоящее время позиционируются в качестве первоосновы новой промышленной революции. Данная технология позволяет создавать индивидуальные изделия без каких-либо потерь в стоимости производства, поскольку производство изделий не требует инструментов, пресс-форм. Более того, аддитивные технологии позволяют производить сложные и интегрированные функциональные конструкции в один этап, тем самым потенциально снижая потребность в сборочных работах. В этой статье затрагивается влияние аддитивных технологий на микро-уровне в масштабе компаний. Целью статьи является определение изменения рыночных структур с точки зрения управления операциями. Основываясь на анализе существующих экономических моделей, определяются экономические и технологические характеристики аддитивного производства. Предполагается, что в условиях монополии внедрение аддитивных технологий позволяет компании увеличить прибыль за счет получения потребительского излишка при гибком производстве персонализированных продуктов. В то же время на конкурентных рынках стимулируется конкуренция, поскольку аддитивное производство может снизить барьеры для входа на рынок. В конечном итоге факторы в совокупности должны привести к снижению цен для потребителей.

Ключевые слова: аддитивные технологии, бизнес-процессы, производство, 3-D печать, гибкие производственные системы (ГПС), модели, экономическая эффективность.

Введение

Технологические инновации влияют на компании и структуру рынка, в частности, внедрение гибких производственных систем (ГПС) оказало значительное влияние на производителей и структуру рынка. Гибкие производственные системы могут производить множество различных изделий, используя одни и те же (производственные) ресурсы [5]. К гибким производственным системам можно отнести аддитивные технологии (далее – АТ), именуемые в обиходе 3-х мерной печатью, потенциал которых способен вызвать новую промышленную революцию. Аддитивные технологии представляют собой процесс соединения материалов для создания объектов на основе данных 3D-модели, обычно слой за слоем [8]. Основное преимущество АТ заключается в том, что они позволяют гибко производить продукцию по индивидуальным заказам без потерь в стоимости производства. Для этого используются прямые цифровые производственные процессы, которые напрямую преобразуют 3D-данные в физические детали, без использования инструментов или пресс-форм. Кроме того, принцип послойного производства позволяет изготавливать функционально интегрированные детали за один производственный этап, что снижает необходимость в сборочных работах. Таким образом, аддитивные технологии существенно влияют на стоимость гибкости, индивидуализации, капитальных затрат и предельных производственных издержек. Тем не менее, возможности аддитивных технологий все еще имеют ряд ограничений: доступные материалы не всегда соответствуют характеристикам традиционных производственных процессов, скорость производства довольно низкая, большинство производителей все еще требуют дополнительной обработки поверхности, а общие стандарты контроля качества еще не установлены [1]. По этой причине в данной статье приводится оценка экономических последствий внедрений технологий 3-D печати на уровне компаний с целью проследить основные изменения моделей рыночной структуры.

Производители демонстрируют потенциальные преимущества АТ на различных рынках. Например, в 2013 году компания Nike предложила на рынке применение 3-D печати для производства футбольных бот, изготавливаемых в соответствии с индивидуальным строением ноги. В качестве одного из сложных промышленных применений можно рассмотреть использование АМ в аэрокосмической промышленности, где устранение многих традиционных ограничений, связанных с проектированием и производством, открывает возможности для оптимизации конструкций с целью повышения производительности и снижения веса компонентов. К примеру, компания Boeing использует некоторые термопластичные компоненты, изготовленные с помощью технологии селективного лазерного спекания, в коммерческих программах 737, 747 и 777, а также несколько сотен

компонентов в прототипе самолета 787 [3]. Другие промышленные применения аддитивных технологий встречаются в медицине, на рынках оборонной промышленности, производстве машиностроительных компонентов.

Несмотря на нынешний «ажиотаж» вокруг аддитивного производства, количество исследований, посвященных экономическим и бизнес-эффектам технологий 3-D печати, по-прежнему является недостаточным. Большая часть научной литературы по аддитивным технологиям сосредоточена на технологических аспектах в области машиностроения, материаловедения и информатики. В связи с этим данная статья является лишь попыткой оценить экономический потенциал АТ и эксплицировать основные изменения, происходящие на рынках промышленного производства продукции аддитивным способом.

Характеристики аддитивных технологии для производственных компаний.

Аддитивные технологии позволяют производить функционально интегрированные конструкции изделий в одноэтапном производственном процессе. Некоторые функции, такие как подвижные части или системы охлаждения, могут быть непосредственно интегрированы в производимые детали без дополнительных этапов изготовления или сборки, что дополнительно снижает производственные затраты за счет уменьшения количества этапов производства.

Однако технология 3-D печати все еще имеет ряд ограничений, к примеру, доступные материалы, выбор цветов, а также недостаточная точность производимых деталей нуждаются в улучшении. Наиболее полно информация относительно технологических возможностей и ограничений аддитивного производства приведено в таблице 1.

Таблица 1

Возможности и ограничения технологии АМ с технологической точки зрения.

Технологические характеристики аддитивных технологий	
Возможности	Ограничения
+ Прямое цифровое производство 3D-проектов изделий без необходимости использования инструментов или пресс-форм	- Пространство решения ограничено «печатаемыми» материалами и по размеру пространства для сборки
+ Изменение дизайна продукции без снижения затрат на производство	- Проблемы с качеством производимых деталей: ограниченная воспроизводимость деталей, недостаточная
+ Одноэтапное производство функционально-интегрированных конструкций	- устойчивость к воздействию окружающей среды
+ Меньшая вероятность браков на производстве, снижение отходов и используемого сырья	- По-прежнему требуются значительные усилия для обработки поверхности
+ Повышение сложности конструкции (например, облегченные конструкции или встроенные камеры охлаждения) без снижения стоимости производства	- Отсутствие инструментов и рекомендаций по проектированию для полного использования возможностей АТ
+ Высокая гибкость производства: объекты могут быть изготовлены в любом произвольном порядке	- Необходима квалифицированная рабочая сила и большой опыт работы
+ без снижения стоимости	

Экономические характеристики аддитивных технологий.

С точки зрения совокупности факторов, аддитивное производство наиболее выгодно в рыночной среде, характеризующейся спросом на индивидуальный подход, гибкостью, сложностью конструкции и высокими транспортными расходами на доставку конечных продуктов. АТ способствуют инновациям в продукции, поскольку итерации при проектировании относительно недороги, а детали могут быть быстро изготовлены. Теоретически АТ способны создать любой физически осуществимый дизайн изделия, собранный в 3D-модель, поскольку изделия изготавливаются слой за слоем. Таким образом, дизайн продукта можно оптимизировать в соответствии с его желаемой функцией, а не ограничивать технологией производства или цепочками поставок. Кроме того, компании могут предлагать продукцию с высокой степенью индивидуальности, которая соответствует предпочтениям клиентов. Индивидуализация продукта потенциально приводит к повышению воспринимаемой покупателями ценности продукта и, следовательно, к повышению готовности платить больше [7]. Таким образом, технология аддитивного производства способна разрешить «дилемму масштаба» со стороны затрат, время подготовки к производству отдельных партий продукции может быть значительно сокращено, а версии продукции могут производиться в любой последовательности без дополнительного времени переналадки или затрат на переключение [12].

Ключевые принципы АТ для производственных компаний.

С точки зрения стратегического управления производством, выбор подходящей производственной системы по-прежнему остается проблемой в эпоху аддитивного производства. Как АТ, так и традиционные технологии производства имеют свои преимущества и ограничения, что требует детальной оценки обоих способов производства.

Чтобы системно проанализировать влияние АТ на функцию получения прибылей компаниями используется модель «современного производства», представленную Милгромом и Робертсом [4] в качестве теоретической основы. Эта модель позволяет нам провести анализ на уровне компании в ситуации монополии.

Одной из наиболее цитируемых и основополагающих статей о ГПС и их влиянии на компанию является оценка Милгромом и Робертсом технологий и возможностей, необходимых компании, применяющей ГПС. В исследовании рассматривается отдельная компания, внедряющая ГПС, путем изучения технологий, стратегии и организации. «Современное производство» включает в себя использование технологии ГПС и соответствующих методов проектирования (CAD). Авторы рассматривают одну компанию на монополистическом рынке с функцией получения прибыли, которая содержит ключевые

элементы, необходимые для оценки ценности гибкого производства. Компания может контролировать набор переменных решений в области маркетинга, дизайна, производства, проектирования и организации, сталкиваясь при этом с параметрами, связанными со спросом на продукцию, операционными расходами, капитальными затратами и временем. В целом прибыль компании складывается из общей операционной прибыли за вычетом постоянных затрат, которые состоят из расходов на наладку оборудования, проектирование продукции и капитальные затраты. Анализ этой модели показывает, что компания может улучшить реагирование на рынок и повысить качество продукции за счет технологических достижений в производстве, но успешное использование этих возможностей возможно только при наличии согласованной бизнес-стратегии. Чтобы реагировать на постоянно меняющуюся бизнес-среду, компания должна принимать скоординированные решения по всем функциям цепочки создания стоимости. Более того, инвестиции в различные элементы современного производства взаимно усиливают друг друга; например, полезность гибкого оборудования возрастает при использовании цифровой обработки заказов. Взаимодополняемость маркетинга, дизайна, производства, инжиниринга и организации делает выгодным для компании повышение уровня современных производственных мер после их внедрения.

Функция отдачи, представленная Милгромом и Робертсом, в значительной степени отражает ключевые элементы для оценки влияния производственной гибкости на компанию. Что касается функций параметров, то знаки указывают на то, положительно или отрицательно влияет увеличение одного параметра на значение функции, как это определено Милгромом и Робертсом. Например, ожидаемое время ожидания выполнения обработанного заказа ($\omega^{1/4}\omega(-m, r, n)$) уменьшается с увеличением количества установок за период (m), но увеличивается с ростом вероятности бракованной партии (r) при определенном количестве изделий (n).

Цены на продукцию (p) потенциально могут быть увеличены, если преимущество АТ, заключающееся в индивидуализации без затрат, будет использовано для предложения высококастомизированных или функционально оптимизированных продуктов компании, адаптированных к потребностям клиентов. Используя более высокую готовность клиентов платить за эти персонализированные продукты, производители смогут требовать надбавку к цене по сравнению с неиндивидуализированными продуктами, что приведет к увеличению их ренты. С точки зрения производства, АТ позволяют чаще совершенствовать продукцию (q), вносить итерации в дизайн (d) и настраивать оборудование (m), поскольку при этом не возникает дополнительных затрат на наладку (e, s). Кроме того, прямая обработка 3D-данных в сочетании с процессами «дизайн на заказ» или «изготовление на заказ» помогает сократить общее время выполнения заказа (a, b, ω, t). Пока относительно низкая пропускная способность

производства не является преобладающей, время обработки может быть сокращено (а). Сокращение времени ожидания для клиентов также ведет к уменьшению спроса (δ). Интегрированные процессы заказа могут также привести к ликвидации запасов (ι) и снижению капитальных затрат (κ). Полностью автоматизированный и оцифрованный производственный процесс подразумевает меньшее количество ручного труда и снижает вероятность брака (τ). Кроме того, количество брака ничтожно мало (w), а необходимые затраты на доработку (ρ), хотя и зависят от требований к качеству, могут быть в значительной степени исключены при использовании АТ. Наконец, базовый спрос на продукцию (m) может быть увеличен за счет способности технологии гибко производить высокоиндивидуализированные продукты, отвечающие конкретным потребностям клиентов.

$$\begin{aligned} & \underbrace{\Pi(p, q, m, a, b, c, d, e, r, s, w, \tau)}_{+} = \\ & \underbrace{(p - c - r \times \rho - \iota/m)}_{+} \times n \times \underbrace{\mu(p, q, n, \tau)}_{+} \times \underbrace{\delta(a + \omega(m, r, n) + b, \tau)}_{+} \\ & - \underbrace{m \times (s + w)}_{-} - \underbrace{n \times q \times (d + e)}_{-} - \underbrace{\kappa(a, b, c, d, e, r, s, w, \tau)}_{+/-} \end{aligned}$$

Рис. 1: Потенциальное влияние АТ на функцию отдачи производственной компании (+/-: увеличение/уменьшение).

Однако АТ также характеризуются высокими материальными затратами и энергоемкостью, что негативно сказывается на предельных издержках производства (с). Кроме того, проблемы с качеством по-прежнему приводят к отходам в процессе производства. Кроме того, ограничения, связанные с доступными материалами, пространством для строительства и доступом к ноу-хау и квалифицированной рабочей силе, ограничивают сферу применения, в которой АТ могут конкурировать с традиционными методами производства. Сокращение времени получения и обработки заказа, времени доставки, предельных издержек производства, затрат на проектирование в расчете на улучшение продукта, дополнительных затрат на наладку вновь измененных продуктов, прямых затрат на наладку и затрат на отходы в расчете на наладку не обязательно приводит к значительному увеличению капитальных затрат после того, как были сделаны первоначальные инвестиции в системы АТ. С помощью аддитивного производства прямое цифровое производство позволяет передавать цифровую информацию по всей цепочке создания стоимости - от разработки продукта до его производства [9]. В сочетании с процессом проектирования или изготовления под заказ общее время выполнения заказа может быть сокращено, а запасы и затраты на подготовку к производству устранены, в то время как предельные затраты на производство остаются

неизменными после инвестиций во внедрение аддитивных технологий в промышленное производство компанией. Тем не менее, более высокая скорость производства, более высокое качество и меньшее количество бракованных партий требуют более высоких капитальных вложений в более совершенные АТ-машины.

Влияние АТ на модели рыночной структуры.

Экономические последствия гибкости производства обусловлены новыми технологическими достижениями (например, программным обеспечением САПР, автоматизацией, числовым программным управлением), а также тем, как эти технологии позволяют производственным предприятиям использовать гибкость в качестве стратегической опоры для получения прибыли [11]. В исследованиях по тематике экономической эффективности распоряжения компаниями своими ресурсами затрагивается влияние гибкости на производственные компании и ее инвестиционные компромиссы в различных измерениях. Концепции гибкости, имеющие решающее значение для конкурентной позиции компании, обычно включают гибкость продукта, объема, дизайна новой продукции и времени поставки [10]. Гибкость продукта означает способность компании эффективно переключать мощности с производства одного продукта на другой. Гибкость объема описывает способность компании легко изменять объем производства при минимальных затратах. Гибкость в разработке новых продуктов позволяет быстро и эффективно менять оборудование при изменении технических характеристик продукта. Кроме того, сокращение сроков поставки может быть результатом повышения гибкости производства. Следует рассмотреть основные традиционные модели рыночной структуры, отталкиваясь от исследований различных авторов.

Например, адресные модели атрибутов товара, основанные на модели Хотеллинга и Салопа, представляют рынок как окружность (отдельные участки можно упростить как линию), на которой каждая точка представляет одна версия товара [6]. Каждый потребитель требует один наиболее предпочтительный вариант в этом интервале; любое отклонение вызывает неудовлетворенность, которая пропорциональна расстоянию до наиболее предпочтительного товара. Компании могут «привязать» свой базовый продукт к одной точке на интервале и обслуживать определенный сегмент рынка, изменяя базовый продукт с затратами на модификацию, которые увеличиваются пропорционально расстоянию до базового продукта.

В свою очередь, Итон и Шмитт исследуют влияние ГПС на структуру рынка и приходят к выводу, что гибкость производства способствует концентрации рынка за счет преимущественного использования и слияний или картелей [2]. Они рассматривают ключевые

характеристики гибкого производства как «экономия на масштабах производства дифференцированных товаров», определяя два уровня экономии на масштабах: сильную экономию на масштабах, которая существует, если оптимальный по затратам план производства включает только один базовый продукт, и слабую экономию на масштабах, которая в оптимальном по затратам плане производства включает более одного базового продукта, но менее общего количества производимых товаров. Компания может производить базовый продукт, инвестируя в разработку продукта (невозвратные издержки), в свою очередь базовый продукт может производиться при постоянных предельных издержках. Модифицируя базовый продукт, можно производить варианты в пространстве атрибутов, что влечет за собой дополнительные затраты. Во-первых, затраты на переключение возникают при смене производственного процесса с одного способа на другой. Во-вторых, производство одной единицы версии (итерации) продукта требует затрат на модификацию базового продукта. Итон и Шмитт моделируют этот эффект, устанавливая затраты на модификацию пропорционально расстоянию в пространстве атрибутов между базовым продуктом и ее иной версией. Ключевые допущения, связанные с ГПС в их модели, заключаются в том, что разработка базовых продуктов влечет за собой невозвратные издержки, дополнительные затраты на модификацию базового продукта пропорциональны расстоянию до базового продукта, а затраты на переключение между различными разновидностями равны нулю. Авторы рассматривают модели на рынке с высоким уровнем проникновения, где действующие компании, внедрившие АТ, теряют свое стратегическое преимущество, заключающееся в локальном снижении цен для сдерживания входа на рынок. На рынках, характеризующихся высокой неопределенностью и колебаниями спроса на продукцию, компании, использующие АТ, будут доминировать в конкурентной борьбе с новыми участниками благодаря экономии на маркетинге и закупках. Кроме того, выдвигается постулат, согласно которому на крупных рынках, где неоднородность спроса относительно невелика, технология специализированного производства, предполагающая значительную экономию на масштабе, остается более выгодной, чем использование технологии аддитивного производства.

Заключение

Если технология АТ раскрывает свой потенциал по всем параметрам функции получения прибыли производственной компании, монополист может увеличить прибыль, предлагая индивидуальные изделия с ценовой надбавкой при отсутствии затрат на

производство при условии, что предельные издержки производства, время обработки и вероятность брака не слишком высоки.

Этот аналитически выведенный результат подтверждает утверждение о положительном влиянии АТ на прибыль монополиста. Корректировка некоторых элементов в модели Милгрота и Робертса показывает, что аддитивное производства имеет глубокие экономические последствия для производителей на уровне компании в ситуации монополии. Однако не предполагается, что АТ приведут к появлению монопольных рынков, как это представлено в базовой модели. Изученные материалы и модели лишь помогают продемонстрировать влияние АТ на различные параметры затрат на уровне компаний. Предполагается, что это влияние также справедливо в условиях конкуренции, что излагается в разделе рассмотрения влияния АТ на структуру рынка. Обнаруживается, что описанные выше последствия на уровне компании, в частности в отношении производственных затрат, сохраняются и в условиях конкуренции при внедрении АТ.

Список литературы

1. Berman Barry. 3-D printing: the new industrial revolution // *Bus. Horiz.* 55 (2). 2020. P. 155-162.
2. Eaton B. Curtis, Schmitt, Nicolas, 1994. Flexible manufacturing and market structure. *Am. Econ. Rev.* 84 (4), P. 875-888.
3. Mellor Stephen. An Implementation Framework for Additive Manufacturing // *Dissertation thesis, University of Exeter.* 2019. P. 1-262.
4. Milgrom Paul, Roberts John, 1990. The economics of modern manufacturing: technology, strategy, and organization. *Am. Econ. Rev.* 80 (3), P. 511-528.
5. Mills David E., Schumann Laurence. Industry structure with fluctuating demand // *Am. Econ. Rev.* 75 (4), 1985, P. 758-767.
6. Salop Steven C., 1979. Monopolistic competition with outside goods. *Bell J. Econ.* 10 (1), P. 141-156.
7. Wohlers Terry T. Wohlers Report 2013. Additive Manufacturing and 3D printing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report // *Wohlers Associates, Fort Collins CO.* 2013, P. 1-297.
8. Аддитивные технологии: настоящее и будущее: материалы V международной конференции (г. Москва, 22 марта 2019 г.) // ФГУП «ВИАМ». М: ВИАМ, 2019. 448 с.
9. Гудкова Т.В. Глобальные цепочки создания добавленной стоимости в условиях цифровизации экономики // *Журнал экономической теории.* 2020. №1. С. 53-64.

10. Плотников А.В. Концептуальная модель организационной гибкости // КЭ. 2021. №12. С. 4851-4862.
11. Реус С.П. Влияние научно-технического прогресса на формирование экономического роста // Креативная экономика. 2020. Том 14. № 2. С.159-174.
12. Шимохин А.В. Экономическое обоснование внедрения аддитивной технологии в технологические процессы производства продукции предприятия // Экономика и экологический менеджмент. 2019. № 4. С. 47-58.

ECONOMIC IMPLICATIONS OF 3D-PRINTING. REVISION OF MARKET STRUCTURE MODELS

Kozhiev Alexander Yurievich

Postgraduate student, Faculty of Business Informatics and Complex Systems Management
National Research Nuclear University MEPhI
Moscow, Russian Federation

Abstract. Additive technology is currently positioned as the pioneer of a new industrial revolution. This technology makes it possible to create customized products without any loss in production costs, as the production of products does not require tools, molds. Moreover, additive technologies enable the production of complex and integrated functional designs in a single step, thereby potentially reducing the need for assembly work. This article touches on the micro-level impact of additive technologies at the firm scale. The aim of the article is to identify changes in market structures from an operations management perspective. Based on the analysis of existing economic models, the economic and technological characteristics of additive manufacturing are identified. It is assumed that under monopoly conditions the introduction of additive technologies allows the firm to increase profits by obtaining consumer surplus with flexible production of personalized products. At the same time, competition is stimulated in competitive markets because additive manufacturing can lower barriers to entry. Ultimately, the factors combined should result in lower prices for consumers.

Key words: additive technologies, business processes, production, 3-D printing, flexible production systems (FPS), models, economic efficiency.

References

1. Berman Barry. 3-D printing: the new industrial revolution // Bus. Horiz. 55 (2). 2020. P. 155-162.
2. Eaton B. Curtis, Schmitt, Nicolas, 1994. Flexible manufacturing and market structure. Am. Econ. Rev. 84 (4). P. 875-888.
3. Mellor Stephen. An Implementation Framework for Additive Manufacturing // Dissertation thesis, University of Exeter. 2019. P. 1-262.
4. Milgrom Paul, Roberts John, 1990. The economics of modern manufacturing: technology, strategy, and organization. Am. Econ. Rev. 80 (3). P. 511-528.
5. Mills David E., Schumann Laurence. Industry structure with fluctuating demand // Am. Econ. Rev. 75 (4). 1985. P. 758-767.
6. Salop Steven C., 1979. Monopolistic competition with outside goods. Bell J. Econ. 10 (1), P. 141-156.

7. Wohlers Terry T. Wohlers Report 2013. Additive Manufacturing and 3D printing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report // Wohlers Associates, Fort Collins CO. 2013. P. 1-297.
8. Additive technologies: present and future: proceedings of the V International Conference (Moscow, March 22, 2019) // FSUE «VIAM». Moscow: VIAM, 2019. 448 p.
9. Gudkova T.V. Global value chains in the context of digitalization of the economy // Journal of Economic Theory. 2020. № 1. P. 53-64.
10. Plotnikov A.V. Conceptual model of organizational flexibility // KE. 2021. № 12. P. 4851-4862.
11. Reus S.P. The influence of scientific and technological progress on the formation of economic growth // Creative economics. 2020. Volume 14. № 2. P.159-174.
12. Shimokhin A.V. Economic justification for the introduction of additive technology into the technological processes of production of the enterprise // Economics and Environmental Management. 2019. № 4. P. 47-58.