

Тшишимби Мукенди Гилэн

студент

Инженерная академия

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»

г. Москва

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК ФОРМЫ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ САНКЦИЙ

Аннотация: в статье рассматривается проблема внедрения в народное хозяйство России аддитивных технологий в ракурсе их адаптации к современным рыночным условиям, когда Российская Федерация развивается в условиях международных экономических санкций. Автор приходит к выводу на примере авиационной отрасли России, что распространение аддитивных технологий в рамках российского промышленного производства затруднено из-за низких эластичности спроса и предложения, особенно болезненным для инновационного развития отрасли является низко эластичное предложение.

Ключевые слова: аддитивные технологии, авиационная промышленность России, рынки промышленной продукции, отраслевой микроэкономический анализ, инновации.

Экономика аддитивных технологий недостаточно изучена в России. Мы сказали бы, что ее изучение находится в начальном состоянии, несмотря, что на Западе некоторыми исследователями декларирована целая грядущая новая промышленная революция, которую должны вызвать аддитивные технологии [Kuhn, 2011; Schiffler, 2015; D’Aveni, 2015]. Это связано как с тем, что эти технологии еще не столь значительно распространены в России, так и с тем, что данная проблема привлекает до сих пор внимание очень узкого круга специалистов, которые являются преимущественно техническими экспертами, поэтому анализ вопросов эффективности применения аддитивных технологий идет с

применением методик производственного менеджмента, но не современной микроэкономики. Отсюда мы не имеем полного представления о том, почему распространение аддитивных технологий в России идет не в столь крупных масштабах, как в Китае или Германии, к примеру. В этой связи целью настоящего исследования является выявить эффективность внедрения аддитивных технологий в промышленное производство России на примере авиационной отрасли с применением линейной модели рынка (микроэкономический метод).

За основу исследования мы берем как имеющиеся наработки отечественных и зарубежных специалистов, так и смоделированную нами ситуацию в авиационной отрасли России. В статье применен в основном нормативный анализ, но также немало место отведено логическому моделированию в микроэкономике, мы уже достаточно хорошо знаем на примере работы ряда производств в России нормы экономии издержек производства, вызываемые применением аддитивных технологий. Главной научно-практической проблемой является, повторимся, оставшийся без ответа вопрос, почему аддитивные технологии, как двигатель современного прогресса в промышленности, так слабо представлены на российских предприятиях? Во многом этот вопрос остался без ответа, в силу отказа специалистами применять основные методы современного микроэкономического анализа издержек производства, в частности, – расчеты средних общих и предельных издержек при смоделированных ситуациях.

К 2020 г. мировой рынок аддитивных технологий (АТ) составил около 12 млрд. долларов США, при этом Россия на рубеже 2019 – 2020 гг. находилась на 11 месте в мире по производству и адаптации в экономике этих технологий. В 2016–2018 гг. АТ оставались абсолютно новым для России направлением в рамках инновационной экономики, несмотря на то, что рост их производства и распространения в российском народном хозяйстве составлял тогда 25%, этот факт указывает на то, что в отдельных сегментах российской экономики АТ оставались недавно очень востребованными. Но, как это часто бывает в России, инновации, в данном случае АТ, не выходили за пределы отдельных «предприятий-инкубаторов».

С 2010 по 2020 гг. российский рынок АТ вырос в 10 раз, но, повторимся, произошло это за счет значительного успешного развития отдельных предприятий, перехода к распространению АТ по всей экономике практически не произошло за это десятилетие, несмотря на то, что у государства есть понимание, что выход страны на VI технологический уровень невозможен без АТ.

Рынок АТ состоит из следующих сегментов:

1. Оборудование для 3D-печати, или серийное изготовление станков и комплектующих.
2. Материалы для 3D-печати, или универсальные порошки, в т.ч. для ответственных изделий.
3. ПО для 3D-печати, или единая цифровая платформа для разработки и производства.
4. Услуги 3D-печати, то есть, комплексное предложение по аутсорсингу изделий.

Крупнейшими лидерами в сфере разработки АТ на сегодня выступают 9 компаний: 3D Systems (США), EOS Gmbh (Германия), SLM Solutions (Германия), Stratasys (США), Objet Geometries (США-Израиль), Envisiontec (США-Германия (DLP)), ExOne (США), Voxeljet (Германия), Arcam AB (Швеция). Ведущими производителями 3D-принтеров являются Carbon, Desktop Metal, Formlabs. 87% аддитивного производства приходится на Северную Америку и ЕС, что во многом связано с регистрацией именно в этих регионах фирм-производителей и патентов. Наиболее используемыми технологиями 3D-печати остаются моделирование методом осаждения с плавлением (FDM), селективное лазерное спекание (SLS), стереолитография (SLA).

Российский рынок 3D-печати идет по пути импортозамещения уже с 2014 г. В итоге к 2020 г. отечественное оборудование в сфере АТ заняло 42% от общего объема использовавшихся производственных средств в данном сегменте инновационной экономики страны. В 2018 г. было закуплено материалов, оборудования и услуг для сегмента АТ на 69 миллионов долларов, или 4,5 млрд. руб. на фоне того, что общий объем инновационных товаров, работ и

услуг составил в 2018 г. 3693061.6 млн. руб., или почти 53 млрд. долларов США. То есть, АТ сфера взяла от всех закупок в инновационном сегменте российской экономики около 9%, что немало, но очень мало на фоне того факта, что все инновационные товары, работы и услуги свелись в 2018 г. к 6% от всех в России отгруженных товаров и выполненных работ и услуг, в 2014 г этот показатель составил 8,2%. Это указывает как на болезненный для российского инновационного рынка эффект от санкций, так и на падение общего спроса на инновационные продукцию и услуги.

30% продукции с применением аддитивных технологий произведено в России в аэрокосмической отрасли (доля аэрокосмической отрасли на мировом рынке АТ составляет 12% [Моргунов, Саушкин, 2016]), то есть, сегмент экономики, работающий в основном на государственные заказы. Другой важной особенностью российской сферы АТ является то, что все разработанные отечественными фирмами 3-D принтеры не могут быть применены для печати ответственных деталей и узлов, это делает рынок АТ в России сильно зависимым от импорта. Правда, после 2018 г. российскими компаниями проведена серия разработок, направленных на создание промышленных 3-D принтеров. По металлопорошковой SLM-печати стоит выделить таких разработчиков как «Лазерные системы», МЦЛТ МГТУ, 3DSL.A.RU, ЦНИИТМАШ («Росатом»); по лазерной наплавке (DMD) – ИЛИСТ СПбГМТУ и МЦЛТ МГТУ. Данным вопросом занимаются также и другие российские фирмы.

Среди промышленных установок для печати пластиками/композитами лидирующими образцами можно назвать песчано-полимерные принтеры компании «Аддитивные технологии» Total Z, 3D-принтеры для строительной отрасли группа «Деловой Профиль». Большим достижением к 2020 г. стало создание в России 3D-принтера для строительной отрасли ((«Спецавиа», Aris Cor). Однако массовым сегментом рынка АТ в России остаются настольные принтеры, где действуют более 30 компаний.

На конец 2019 г. в России насчитывалось 9 типовых центров АТ, которые все относились к классу производственных. По мнению экспертов, России по-

требуется создать 188 центров АТ к 2030 г., из которых 140 – производственного класса, к декабрю 2020 г. не сделано и четверти от этого. Таким образом, российский производственный комплекс АТ находится сегодня в стартовом состоянии.

АТ являются процессом объединения материала с целью создания объекта по данным 3D-модели, в частности, с применением 3D-принтера. Данные технологии предоставляют возможность быстро конструировать и воспроизводить объекты, которые при обычных производственных методах обладают высокой трудоемкостью. Принципиальным отличием АТ от стандартных технологических методов является то, что изготовление изделия посредством АТ идет посредством послойного нанесения материала, этот процесс происходит с повторением по контуру модели изделия, когда старые способы изготовления подразумевают удаление лишней части заготовки. Поэтому при АТ не требуются чертежи, заранее разработанная стандартная технология, которую невозможно или очень сложно изменить, нет модельной оснастки и литья.

Важным преимуществом АТ является снижение издержек производства, но до сих пор среди исследователей нет однозначного мнения по поводу того, насколько АТ их сокращают, практика показывает, что этот показатель слишком различается, в зависимости от конкретного предприятия. Одной из причин этому является то, что изготовление пресс-форм под литье и штамповку при старых технологиях не являются одинаковыми для всех видов производств. Считается, что издержки производства могут быть снижены до 90% посредством АТ. По расчетам экспертов «Росатома», АТ позволят снизить стоимость типовых деталей до 85%, но это – прогнозное значение. На данное время те же эксперты из «Росатома» определили следующие параметры снижения издержек выпуска типовых деталей (таб. 1).

Таблица 1

Изготовление типовых деталей при помощи традиционных технологий и АТ, сравнение. Составлено по: Аддитивные технологии в авиаиндустрии. М.: ООО «Русатом – Аддитивные Технологии» Отраслевой интегратор Госкорпо-

рации Росатом. URL: // <https://helirussia.ru/wp-content/uploads/2020/09/1.Prezentatsiya-Helirussia-2020-Rosatom>

Изделие / Product	Стоимость изделия при учете применения старых технологий, руб. / The cost of the product when taking into account the use of old technologies, rub.	Стоимость изделия при учете применения АТ, руб. / The cost of the product when taking into account the use of AT, rub.	Экономический эффект от применения АТ в объеме серии, руб. / The economic effect of the use of AT in the volume of the series, rub.
Решетка головки / Head grille	30 000	28 000	1 200 000
Решетка опорная / Grid support	25 000	22 000	1 800 000
АДФ / ADF	90 000	45 000	48 600 000
АДФ / ADF	30 000	15 000	13 200 000

По более сложным решениям эксперты «Росатома» получили большой экономический эффект от применения АТ. Например, оптимизация выгородки РУ ВВЭР-1000 (типовой агрегат для атомного реактора) посредством применения АТ дала снижение стоимости данного изделия со 160 млн. руб. до 80 млн. руб. Произошло это в основном за счет снижения массы заготовки изделия с 75 т до 35,1 т. Также время на выпуск РУ ВВЭР-1000 было снижено на 70%¹. Кроме того, было улучшено охлаждение реактора².

Еще более инновационным является предложение решать многие проблемы при помощи АТ в строительной отрасли. Правда, здесь масштаб экономии в случае применения АТ зависит от конкретного проекта, так как «стоимость печати одного кубометра готовой строительной конструкции складывается из многих факторов, таких как конфигурация и толщина стены, марка и состав используемой смеси, точное значение может быть рассчитано только на основе конкретного строительного проекта [Бронзова, Немова, 2021]». Весомым фактором сокращения издержек в строительстве в случае применения АТ является

¹ Аддитивные технологии в авиаиндустрии. М.: ООО «Русатом – Аддитивные Технологии» Отраслевой интегратор Госкорпорации Росатом. URL: // <https://helirussia.ru/wp-content/uploads/2020/09/1.Prezentatsiya-Helirussia-2020-Rosatom> (дата обращения: 29.04.2022)

² Аддитивные технологии в авиаиндустрии. М.: ООО «Русатом – Аддитивные Технологии» Отраслевой интегратор Госкорпорации Росатом. URL: // <https://helirussia.ru/wp-content/uploads/2020/09/1.Prezentatsiya-Helirussia-2020-Rosatom> (дата обращения: 29.04.2022)

6 <https://phsreda.com>

отказ от несъемных опалубок [Бронзова, Немова, 2021]. Печатная конструкция также облегчает прокладку инженерных коммуникаций, снижая тем самым трудозатраты в строительстве [Бронзова, Немова, 2021]. В целом, экономия труда в строительстве в ситуации применения АТ составляет 45–55%, материалов – 25–30%, накладных расходов за счет снижения срока выполнения строительных работ – 20–25% [Бронзова, Немова, 2021]. Таким образом, снижение стоимости создания строительных конструкций посредством применения АТ в строительстве, как мы видим, немного меньше, чем при изготовлении выгородки РУ ВВЭР-1000 для атомного реактора, но, тем не менее, экономическая эффективность в обоих случаях достаточно высока. Кроме того, АТ в сфере строительства лучше, чем традиционные технологии, решают проблемы безопасности труда и зависимости работ от погодных условий, а также снижают вероятность ошибок в проектировании зданий. Тем не менее, в России применение АТ в строительстве носит экспериментальный характер, когда на Западе имеет место переход от экспериментального производства к серийным застройкам.

Аддитивная технология рентабельна там, где стоимость выпуска на килограмм изделия высока, поэтому АТ широко применяются в первую очередь в высоко технологичных отраслях. В автомобильной промышленности 3Dпечать оправдана при мелкосерийном производстве. АТ популярны в авиакосмической отрасли, там используются детали сложной конструкции, требующих много времени на проверки и изготовление.

В медицине сейчас часто применяется создание сложно-профильных деталей при использовании АТ, нередко последним в этом вопросе нет альтернативы. Сложно-профильные детали с использованием особых материалов (неприменимых при обычных технологиях) возможны к изготовлению, благодаря АТ.

Если исходить из данных опроса 140 экспертов в сфере 3D-печати, проведенном в 2019 году Dimensional Research в интересах Essentium, среди главных проблем отрасли выделялась все еще высокая стоимость технологий и материалов, трудности с масштабированием результатов и низкий уровень доверия. Даже в странах Запада эксперты отмечают, что внедрение АТ сопряжено с вы-

сокими издержками, 42% респондентов (результат опросов Dimensional Research) выделили именно эту проблему, как основную, на пути инвестиций в АТ³.

Другой сложностью с применением АТ является более низкая степень серийности выпуска продукции с применением этих технологий, АТ, в целом, не предусмотрены для стандартного конвейерного производства. В России алгоритмы оптимизации затрат организаций, применяющих АТ, с точки зрения логистики заказов выработан сравнительно недавно, можно сказать, к началу 2020 г [Хаймович и др., 2020]. Для фирм, осуществляющих производство с применением АТ, очень важно обеспечить регулярную загрузку мощностей, чтобы снизить простои в работе оборудования и персонала.

Надо также учитывать немаловажную особенность применения АТ, которая раскрыта у Ю.А. Моргунова: «Согласно имеющимся данным, как конечное изделие используют всего около 19% продукции аддитивного производства [Моргунов, Саушкин, 2016]». Это связано с необходимостью избавиться от остаточной пористости [Моргунов, Саушкин, 2016].

Большим риском на российском рынке АТ является то, что в нашей стране до сих пор производство металлических порошков для аддитивных технологий развито не столь сильно, по той причине, что долгие годы этот материал массово импортировался. Первое производство порошков в России создано недавно в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ (Москва). Но риск связан с тем, что у АТ по порошкам оказалась в России слишком узкая производственная база.

Для поддержания производства посредством АТ на уровне 2017 – 2018 гг. России требуется около 5,5–6 т металлических порошков⁴. Россия в состоянии освоить и уже освоила выпуск такого объема порошков, но остается открытым вопрос роста спроса на порошки, не будет ли он в дальнейшем опережать их производство.

³ Essentium's latest survey: what is the future of industrial 3D printing? <https://www.3dnatives.com/en/essentium-190320195> (дата обращения: 29.04.2022)

⁴ Основные тенденции российского рынка металлических порошков для аддитивных технологий // Аддитивные технологии. 2022. №1. <https://additiv-tech.ru/publications/osnovnye-tendencii-rossiyskogo-rynka-metallicheskih-poroshkov-dlya-additivnyh> (дата обращения: 29.04.2022)

8 <https://phsreda.com>

Говоря о производственном потенциале АТ-сферы в России, стоит упомянуть также, что для российских фирм не было еще в недавнем времени оптимальных стартовых условий, что отражается на сегодняшней ситуации. Например, к 2018 г. Россия обладала парком промышленных 3D-установок около 2 000 шт., что составляло примерно 2% от мирового парка техники этого типа⁵.

Необходимо также учитывать национальную специфику потребностей в АТ в той или иной экономике. В странах ЕС потребность в сложных изделиях, создаваемых АТ, вызвана особыми факторами. Например, жесткие требования к самолетам по выбросу CO₂ поставили перед авиастроителями Европейского союза задачу максимально возможно облегчить конструкции летательных аппаратов⁶.

Заключение

Разработка и применение аддитивных технологий в России находятся сегодня еще в стартовом состоянии, но, согласно нашему анализу, они слабо могут повлиять на рынок авиационной техники в стране в сторону роста выпуска и, соответственно, потребления авиационной продукции. Причина к тому кроется не в самих АТ, но в характерах производственной базы отрасли и спроса на самолеты и вертолеты в нашей стране, спрос и предложение слабо эластичны, и эта ситуация сложилась еще до коронакризиса.

С одной стороны, мы имеем дело с дефицитом новых и прошедших капитальный ремонт старых самолетов, с другой стороны, видим недостаточно развитую производственную базу производства гражданской авиационной продукции, это и вызывает ограниченный народохозяйственный эффект от применения инноваций в сфере тяжелого машиностроения, мы уверены, что такое положение сложилось не только в авиационной промышленности России. Разумеется, надо принять во внимание, что и распространение любой технологии

⁵ Кубанова А.Н. Материалы АО «ПОЛЕМА» для промышленного применения в аддитивном производстве // URL: // <https://aviatp.ru/files/aviaevents-2019/MAKS/Polema.pdf> (дата обращения: 29.04.2022)

⁶ Printing the future: Airbus expands its applications of the revolutionary additive layer manufacturing process <http://www.aviationworldnews.com/news/printing-the-future-airbus-expands-its-applications-of-the-revolutionary-additive-layer-manufacturing-process-37604>; <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2016-06-airbus-tests-high-tech-concepts-with-an-innovative-3d-printed-mini-aircraft> (дата обращения: 29.04.2022)

в какой-либо отрасли носит ограниченный характер, АТ никогда не смогут вытеснить полностью традиционные технологии.

Важный вывод из данной работы – производство продукции для рынка с низкой эластичностью как по спросу, так и по предложению содержит высокие риски для внедрения инноваций. В случае с российским авиапромом это вызвано сравнительно слабым уровнем развития производственных мощностей, резервами здесь могут быть как высвобождение дополнительных мощностей из-за отказа отдельных иностранных потребителей приобретать, в силу санкций, российскую технику, так и отказ от выпуска устаревших моделей как гражданской, так и военной техники. Однако даже в таком случае экономико-финансовый эффект от применения аддитивных технологий в авиастроении России будет пока что носить ограниченный характер.

Список литературы

1. Аддитивные технологии в авиаиндустрии. М.: ООО «Русатом – Аддитивные Технологии» Отраслевой интегратор Госкорпорации Росатом. URL: <https://helirussia.ru/wp-content/uploads/2020/09/1.Prezentatsiya-Helirussia-2020-Rosatom>
2. Анализ отрасли авиастроения в России в 2015–2019 гг, прогноз на 2020–2024 гг. URL: https://businessstat.ru/images/demo/aircraft_industry_russia_demo_businessstat
3. Барский Р. Сколько стоит новый пассажирский самолет? / Р. Барский // Наука и техника. URL: <https://naukatehnika.com/skolko-stoit-novyj-passazhirskij-samolet.html>
4. Бронзова А.В. Эффективность ограждающих конструкций, созданных аддитивным методом / А.В. Бронзова, Д.В. Немова // Неделя науки ИСИ: материалы всероссийской конференции в 3-х частях. – СПб.: Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, 2021. – С. 126–128.

5. Кубанова А.Н. Материалы АО «ПОЛЕМА» для промышленного применения в аддитивном производстве / А.Н. Кубанова. URL: <https://aviatp.ru/files/aviaevents-2019/MAKS/Polema.pdf>
6. Моргунов Ю.А. Техничко-экономические аспекты аддитивного формообразования / Ю.А. Моргунов, Б.П. Саушкин // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2016. – №7.
7. Основные тенденции российского рынка металлических порошков для аддитивных технологий // Аддитивные технологии. – 2022. – №1. URL: <https://additiv-tech.ru/publications/osnovnyye-tendencii-rossiyskogo-rynka-metallicheskih-poroshkov-dlya-additivnyh>
8. Сироткин О.С. Современное состояние и перспективы развития аддитивных технологий / О.С. Сироткин // Авиационная промышленность. – 2015. – №2. – С. 22–25.
9. Текущие цены на гражданские самолёты. URL: <https://aeronautica.online/prices/current-aircraft-prices-mba-2017>
10. Хаймович А.И. Повышение эффективности оперативного планирования распределения заказов аддитивного производства / А.И. Хаймович, П.С. Петрова, В.В. Кокарева и др. / Вестник международного института рынка. – 2020. – №2. – С. 137–143.
11. D’Aveni, R. The 3-D Printing Revolution. Harvard Business Review, 2015, №93 (5), pp. 40–48.
12. Essentium’s latest survey: what is the future of industrial 3D printing? URL: <https://www.3dnatives.com/en/essentium-190320195>
13. Kuhn T. Druck dir deine Welt // Wirtschafts Woche, 2011, №51, pp. 72–78.
14. Schiffler, R. Revolution auf leisen Sohlen. VDI nachrichten, 2015, №43, p. 2.
15. Printing the future: Airbus expands its applications of the revolutionary additive layer manufacturing process. URL: <http://www.aviationworldnews.com/news/printing-the-future-airbus-expands-its-applications-of-the-revolutionary-additive-layer-manufacturing-process-37604>;

<https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2016-06-airbus-tests-high-tech-concepts-with-an-innovative-3d-printed-mini-aircraft>