Актуальные аспекты применения аддитивных технологий в современной России в условиях санкций

Ермаков Дмитрий Николаевич, д.п.н, д.э.н, к.и.н, профессор, Магистр технических наук, профессор кафедры мировых финансовых рынков и финтеха РЭУ им. Плеханова; главный научный сотрудник научно-технического отдела АО «НИИ “Полюс” имени М.Ф. Стельмаха» Москва, Российская Федерация. SPIN-код: 6835-3155; Author ID: 319114;

E-mail: dermakow@mail.ru

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. Авторы приходят 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, этот вывод сделан на базе линейной модели рынка. Однако перспективы у аддитивных технологий в авиационной промышленности есть при условии изменения ценовой политики в аспекте пересмотра цен на продукцию гражданской авиации в сторону их увеличения, это вполне возможно в ситуации трансформации всей промышленности под давлением международных санкций. Авторы также считают, что в перспективе развитие малой авиации создаст условия для того, что аддитивные технологии окажутся более востребованными, но сделать сейчас определенные прогнозы на этот счет пока что трудно. Важным теоретическим результатом данной научной статьи является построение модели влияния рынка на эффективность внедрения аддитивных технологий, это является полезным для дальнейших исследований хозяйственных вопросов, связанных с аддитивными технологиями, а также вопросов, связанных с внедрением в условиях рыночной экономики инноваций в целом. В этой связи целью настоящего исследования является выявить потенциальную эффективность внедрения аддитивных технологий в промышленное производство России на примере авиационной отрасли с применением линейной модели рынка (микроэкономический метод), построенной на взятых из открытых источников хозяйственной статистики авиационной отрасли России.

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

Current aspects of the application of additive technologies in modern Russia under sanctions

Ermakov Dmitry Nikolaevich, Dr. Sci. (Polit.), Dr. Sci. (Econ.), Cand. Sci. (Hist.), Professor; Professor of the Department of Global Financial Markets and Fintech of the Plekhanov Russian University of Economics leading researcher at the JSC "Research Institute 'Polyus' named after M.F. Stelmakh" Moscow, Russian Federation. SPIN ID: 6835-3155; Author ID: 319114;

E-mail: dermakow@mail.ru

Abstract

The article devoted to the problem of introducing additive technologies into the national economy of Russia from the perspective of their adaptation to modern market conditions, when the Russian Federation is developing under international economic sanctions. The authors conclude, using the example of the Russian aviation industry, that the spread of additive technologies within the framework of Russian industrial production is difficult due to low elasticity of supply and demand, low elastic supply is especially painful for the innovative development of the industry, this conclusion is made on the basis of a linear market model. However, there are prospects for additive technologies in the aviation industry, if the pricing policy will be changed in the aspect of revising prices for civil aviation products in the direction of their increase, this is quite possible in a situation of transformation of the entire industry under the pressure of international sanctions. The authors also believe that in the future, the development of small aircraft will create conditions for additive technologies to be more in demand, but it is still difficult to make certain forecasts on this score. An important theoretical result of this scientific article is the construction of a model of market influence on the effectiveness of the introduction of additive technologies, this is useful for further research of economic issues related to additive technologies, as well as issues related to the introduction of innovations in a market economy in general.

Keywords: additive technologies, Russian aviation industry, industrial product markets, industry microeconomic analysis, innovations

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.

Аддитивные технологии как технологический прорыв

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:

■ оборудование для 3D-печати, или серийное изготовление станков и комплектующих;

■ материалы для 3D-печати, или универсальные порошки, в т.ч. для ответственных изделий;

■ ПО для 3D-печати, или единая цифровая платформа для разработки и производства;

■ 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-принетров 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,

3DSLA.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», Apis 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 потребуется 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 Госкорпорации Росатом. URL: // https://helirussia.ru/wp-content/uploads/2020/09/1.Prezentatsiya-Helirussia-2020-Rosatom

Tab. 1

Production of standard parts using traditional technologies and AT, comparison. Compiled by: Additive Technologies in the aviation industry. M.: Rusatom – Additive Technologies LLC, an industry integrator of the Rosatom State Corporation. 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 больший 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 реактора[2].

[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)

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 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 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 авиа-космической 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

---

[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)

масштабированием результатов и низкий уровень доверия. Даже в странах Запада эксперты отмечают, что внедрение АТ сопряжено с высокими издержками, 42% респондентов (результат опросов Dimensional Research) выделили именно эту проблему, как основную, на пути инвестиций в АТ[3].

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 порошков[4]. 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.

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

[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)

парка техники этого типа[5].

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 аппаратов[6].

Оценка эффективности АТ: основные методы

Современные оценки эффективности АТ имеют в своей основе преимущественно методики производственного менеджмента, базирующиеся отчасти на экспертных наблюдениях. Общими алгоритмами определения эффективности АТ являются следующие приемы:

к технологиям производства воздушных летальных аппаратов в качестве критерия эффективности технологий принят коэффициент Кэф, определяемый из соотношения Кэф = Δμ/ΔW (по формуле 1) и правило предпочтения − Кэф → max − при R ≥ [R0] и W≤ [W0], где Δμ = ◌(γ ,v, ◌)– функция полезности; q – полезная нагрузка; v –крейсерская скорость; R – ресурс изделия; ΔW – стоимость жизненного цикла, [R0], [W0] – ограничения на ресурс и стоимость жизненного цикла [Сироткин, 2015]. (1)

Приведенный выше алгоритм имеет слишком узкоотраслевой и упрощенный характер. В этой связи стоит обратиться к концептуальным идеям профессора Моргунова Ю.А.: «выбор лучшего варианта осуществляют по двум критериям: расчетному коэффициенту сравнительной экономической эффективности Ер или по расчетному сроку окупаемости Тр.

Правило предпочтения выражается неравенствами вида Ер > Ен, Тр < Тн, где индекс «н» соответствует нормативной величине соответствующего критерия. При нахождении этих критериев приходится рассчитывать разность суммарных цеховых себестоимостей при переходе от первого варианта ко второму по формуле (2): (ΔС = С1 – С2): ΔС = ΔСм + ΔСзр + ΔСа + ΔСи + ΔСпр + ΔСзс + + ΔСвм + ΔСэ +ΔСуп + ΔСсб, где ΔСм – разность затрат на основные материалы по сравниваемым вариантам; ΔСзр – разность затрат на зарплату производственных работников с начислениями; ΔСа – разность затрат на амортизацию и

[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)

ремонт оборудования; ΔСи – разность затрат на инструмент с учетом переточек; ΔСпр – разность затрат на станочные и контрольно-измерительные приспособления; ΔСзс – разность затрат на эксплуатацию и амортизацию зданий и сооружений; ΔСвм – разность затрат на вспомогательные материалы; ΔСэ – разность затрат на тех нологическую энергию; ΔСуп – разность затрат на управление производственными процессами; ΔССб – затраты на сборку составной части изделия, выполняемой по аддитивному варианту, как одна деталь [Моргунов, Саушкин, 2016]». (2)

По расчетам Ю.А. Моргунова, изготовление детали типа «втулка» посредством АТ требует 1 ч рабочего времени, с применением традиционных технологий – 20-40 часов [Моргунов, Саушкин, 2016]. Помимо этого, Ю.А. Моргунов берет в расчет и экономию материалов за счет снижения объема отходов. Но в то же время Ю.А. Моргунов признает, что для каждого изделия определение машинного времени достаточно индивидуально [Моргунов, Саушкин, 2016]. Однако приведенные нами выше данные из исследований «Росатома» и экспертов из строительной отрасли России говорят все-таки в пользу сокращения издержек производства посредством АТ на 40-50%, но без учета амортизации.

Как считает Ю.А. Моргунов, именно высокие расходы на амортизацию являются тормозом для развития АТ: «Основным недостатком послойного синтеза изделий пространственно-сложной формы является относительно большая величина машинного времени обработки. Это приводит к высокой доле затрат Са на амортизацию оборудования в калькуляции себестоимости. С учетом его высокой стоимости (по разным оценкам 0,3…1 млн. Евро в зависимости от производителя, типоразмеров, опций, условий поставки и пр.) эта статья затрат в ряде случаев становится определяющей. Так, по имеющимся данным доля затрат на амортизацию станка может достигать в отдельных случаях 70 % себестоимости изделия [Моргунов, Саушкин, 2016]». Но, опять-таки, Ю.А. Моргунов выводит 70% от себестоимости изделия в качестве отдельных примеров, общая тенденция влияния амортизации, пусть и гипотетически, на формирование себестоимости в крупных сегментах промышленности, где могут быть задействованы или уже задействованы АТ, им не приводятся.

Гипотетическое определение экономического эффекта от применения аддитивных технологий, отраслевой уровень

Российская экономика вступила в период форсированного импортозамещения, особенно это касается тяжелого машиностроение. Одной из наиболее сложных отраслей России является авиастроение, так как в 2019 г. наступил очередной спад на самолеты отечественного производства, что было связано с ростом импорта авиационной техники в РФ. В то же время российский авиапром экспортировал много самолетов и вертолетов перед

кризисом, связанным с пандемией коронавируса. Сегодня это означает, что большая часть российского авиационного экспорта будет переориентирована на внутренний рынок, в то же время российские авиаперевозчики лишаются и доступа ко многим импортным самолетам.

В связи с указанным выше процессом перестройки российского авиационного рынка мы строим нашу логическую модель с применением базовых методов микроэкономики, чтобы понять, как аддитивные технологии в состоянии повлиять на рынок авиационной техники, с точки зрения перспектив снижения на нее цен и, соответственно, объемов продаж. Мы делаем важное допущение – авиационная продукция будет продаваться на внутреннем рынке по ценам российского импорта, потому что производить технику высокого уровня по ценам ниже импорта Россия не в состоянии на сегодняшний день. Другим важным допущением модели является то, что мы берем за основу 2019 г., год, который предшествовал коронавирусу, мы предполагаем, что по потреблению авиационной техники после спада пандемии российские авиаперевозчики вполне в состоянии выйти в 2023 г. и в последующие годы, незначительно превосходя этот уровень в дальнейшем, оснований ожидать опережения уровня 2019 г. по потреблению авиационной у нас нет.

Немалой сложностью является определение средней равновесной цены на авиационную технику. В нашем случае мы ограничиваемся для построения модели стоимостью самолета типа «Аэробус», так как образцы этой компании оставались долгие годы доминирующими на российском рынке авиаперевозчиков. Проблема в том, что цены на новые и прошедшие капитальный ремонт самолеты достаточно рознятся для российского рынка. Кроме того, самолеты в России и других странах не являются массовым товаров, как, например, мотоциклы, и они закупаются поштучно по отдельно заключенным контрактам либо малыми партиями. Повторимся, российский рынок был насыщен импортными самолетами, имевшими длительные сроки эксплуатации и прошедшими капитальный ремонт, что также влияло на формирование цен, которые достаточно часто менялись, в зависимости не от спроса, но от характеристик предлагавшихся самолетов. Но при этом определить цену, которая, так или иначе, может рассматриваться в качестве некоей базовой для российского рынка стоимости гражданского пассажирского самолета, можно.

Мы берем за основу стоимость наиболее популярную в России и мире модель А320 – 101 млн. долларов США на период коронакризиса и незадолго перед ним. Правда, это – цена абсолютно нового самолета. Учитывая, что парк гражданской авиации России остро нуждается в обновлении, то есть тенденция к приобретению новых самолетов. Однако в случае отсутствия международных экономических санкций российские авиаперевозчики вполне могли бы замедлить темпы обновления парка самолетов, продолжая предпочитать модели с относительно немалым налетом. Тем не менее, приобретение А320 старых

модификаций на сегодня затруднено, в силу элементарного физического износа этих машин, а также изменения в худшую сторону их экономичности, по сравнению с появившимися после 2016 г. образцами. В этой связи вполне вероятно в ситуации отсутствия санкций, что российские авиакомпании предпочли бы A320neo 2017 г. постройки по цене 48,15 млн. долларов США[7], такая стоимость этой модели держалась в начале коронакризиса. Это небольшая цена достаточно популярного в мире самолета, по сравнению с разработанным «Ростехом» МС-21, каталожная цена которого составляет 96,4 млн. долларов США, но, планируется, что на российский рынок этот самолет поступит по цене приблизительно 48,2 млн. долларов[8]. По своим технических характеристикам МС-21 близок к A320neo. Отсюда мы можем принять 48,2 млн. долларов США, как стоимость пассажирского лайнера в России в условиях санкционного давления, которое находится на уровне весны 2022 г. Разумеется, более старые модели самолетов будут стоить меньше, но учтем, что в условиях выхода спроса на самолеты в России на уровень хотя бы 2019 г. цены при сохранении международных санкций должны стремиться к стоимости на внутреннем рынке новой модели МС-21, а также A320neo (они почти идентичны), иного не может произойти, учитывая, что расход ресурсов на запуск в серию новых моделей МС-21 заберет немало их у выпуска старых моделей. Кардинального расширения мощностей российского гражданского авиастроения в обозримом будущем ожидать не приходится.

Своего пика российское производство авиационной техники достигло в 2019 г. – 150 самолетов и вертолетов, что стало следствием во многом спроса за рубежом. При этом выпуск пассажирских самолетов в 2019 г. составил 30 штук. В то же время мы имеем право считать выпуск 2019 г. показателем максимальных возможностей гражданской части авиапрома России, учитывая также и то, что выработанные в 2019 г. меры государственной поддержки отрасли содержали в себе цель – поддержание выпуска на уровне 154 самолетов и вертолетов в 2024 г[9]. При этом выпуск гражданской продукции в авиационной отрасли России остается до сих пор вспомогательным, отрасль выполняет в основном оборонный заказ, поэтому предложение отечественных производителей летательных аппаратов имеет

---

7 Текущие цены на гражданские самолёты https://aeronautica.online/prices/current-aircraft-prices-mba-2017 (дата обращения: 29.04.2022

8 Барский Р. Сколько стоит новый пассажирский самолет? // Наука и техника URL: // https://naukatehnika.com/skolko-stoit-novyj-passazhirskij-samolet.html naukatehnika.com (дата обращения: 29.04.2022)

9 Анализ отрасли авиастроения в России в 2015-2019 гг, прогноз на 2020-2024 гг. // https://businesstat.ru/images/demo/aircraft_industry_russia_demo_businesstat (дата обращения: 29.04.2022)

эластичность, стремящуюся к показателю менее 1, и зависит более не от рыночной цены, но от поставок комплектующих и скорости освоения их выпуска непосредственно в стране в условиях санкций. Сделаем допущение, что в современных условиях давления санкций на российскую экономику эластичность предложения отечественными компаниями-производителями авиационной техники должно равняться примерно 0,1, примем условно для удобства расчетов в нашей модели этот показатель в качестве важного допущения модели.

Предложение всей авиационной техники в РФ в натуральном исчислении было в 2019 г. 631 шт. Сложно из-за санкций и переустройства в условиях вызванных ими хозяйственных процессов всей экономики России спрогнозировать объемы импорта авиационной техники в РФ. В 2019 г. Россия импортировала 106 авиалайнеров. Из-за дефицита запчастей иностранного производства сегодня Россия активно осваивает выпуск Ту-214, но до 2030 г. планируется выпустить 70 самолетов этой модели, то есть, в среднем будет выпускаться по 9 самолетов в год. Правда, в 2022 г. планируется получить 4 МС-21. Однако мы предполагаем, что 4 МС-21 есть максимально возможный годовой выпуск этой модели в условиях самнкционного давления. Остановимся на цифрах в 9 самолетов Ту-214, плюс 4 МС-21 в год, как относительно реалистичных. Таким образом, рост выпуска авиалайнеров будет не столь значительным, чтобы кардинально повлиять на структуру производства в отрасли и распределение ее производственных мощностей между типами летательных аппаратов, и, соответственно, - на ситуацию со стоимостью этих изделий в России.

Напомним, 154 самолета – это столько, сколько российский авиапром, согласно государственным планам, в состоянии выпустить, при этом выпустить в максимально благоприятных условиях. До 2022 г. значительная часть авиационной техники российского производства шла на экспорт. В 2019 г. средняя экспортная цена за единицу авиационной техники российского производства составила 31 964,7 доллара США[10]. Мы уверены, что в условиях жестких санкций по отношению к РФ экспортная цена 2019 г. будет максимально приближена к ценам на внутреннем рынке в 2020-е гг., что дает нам повод принять экспортную стоимость 31 964,7 доллара США за единицу авиационной продукции как базовую для нашей модели. Для удобства округлим нашу базовую стоимость до 32 000 долларов. Эта же сумма за единицу российской экспортной продукции в качестве базовой стоимости в нашей модели актуальна для расчета эластичности спроса по цене для российского внутреннего рынка, и это вполне справедливо, если учесть, что авиапром РФ

[10] Анализ отрасли авиастроения в России в 2015-2019 гг, прогноз на 2020-2024 гг. // https://businesstat.ru/images/demo/aircraft_industry_russia_demo_businesstat (дата обращения: 29.04.2022)

оказался с нулевых годов прочно встроен в ценовую систему мирового рынка, одной из причин чего стал импорт большого количества комплектующих, замена которых посредством отечественного производства должна обойтись в ту же стоимость или выше (учтем, что каталожная цена МС-21 незначительно отличается от стоимости на российском рынке A320neo). Одним из факторов, что внутренние цены на продукцию авиационной промышленности в РФ оказались близки или даже почти идентичны ценам на мировым ценам, является то, что в 2010-е гг. немало ресурсов отечественных производителей летательных аппаратов были направлены на выпуск вертолетов и моделей самолетов, пользовавшихся повышенным спросом за рубежом, и все это происходило на фоне нехватки мощностей и кадров в самой отрасли.

Для определения эластичности спроса по цене для нашей модели мы берем за основу изменения экспортной цены российской авиационной продукции и объем предложения (фактически потребления) это же продукции в России перед коронакризисом (таб. 2).

Таблица 2

Динамика основным показателей рынка авиационной продукции в России. Составлено по: Анализ отрасли авиастроения в России в 2015-2019 гг, прогноз на 2020-2024 гг. // https://businesstat.ru/images/demo/aircraft_industry_russia_demo_businesstat (дата обращения: 29.04.2022).

Объем авиационной техники, предложенный к продаже в России, вычисляется как сумма складских запасов авиационной техники на начало года, а также авиационной техники, которая была произведена внутри страны и завезена в страну на протяжении года

Tab. 2

Dynamics of the main indicators of the aviation products market in Russia. Compiled by: Analysis of the aircraft industry in Russia in 2015-2019, forecast for 2020-2024. // https://businesstat.ru/images/demo/aircraft_industry_russia_demo_businesstat (accessed: 04/29/2022).

The volume of aviation equipment offered for sale in Russia is calculated as the sum of the stocks of aviation equipment at the beginning of the year, as well as aviation equipment that was produced domestically and imported into the country during the year

Низкая эластичность спроса на авиационную продукцию в России до ужесточения санкций в связи с украинским политическим кризисом связана во многом с возрастанием после 2010 г. дефицита самолетов в стране, при этом спрос на авиаперевозки имел тенденции к устойчивому росту после 2000 г. Тем не менее, в 2019 г. эластичность спроса по цене на рынке авиационной техники все-таки была намного выше, чем в 2016 г. и немногим выше, нежели эластичность предложения продукции гражданского авиастроения.

	2016	2017	2018	2019
Цена экспорта, тыс. долл. за шт. / Export price, thousand dollars per piece.	12363,3	13579,8	77084,3	31964,7
Динамика экспорта, % к предыдущему году / Export dynamics, % compared to the previous year	-4,0	9,8	467,6	-58,5
Предложение (потребление) в России, шт. / Supply (consumption) in Russia, pcs.	376	462	695	631
Предложение (потребление) в России, % / Supply (consumption) in Russia, %	21,3	22,9	50,4	-9,2
Эластичность спроса по цене (Ed), округленное значение, рассчитано по online-калькулятору https://www.calculatoratoz.com/ru/price-elasticruy-of-demand-calculator/Calc-109?FormulaId=109 / Price elasticity of demand (Ed), rounded value, calculated using an online calculator https://www.calculatoratoz.com/ru/price-elasticruy-of-demand-calculator/Calc-109 ?FormulaId=109	-5,33	2,34	0,18	0,158

Напомним, максимальная оценка объема выпуска российским авиапромом дается нами как 154 единицы[11], мы ее умножаем на 31 964,7 доллара США (напомним, это – экспортная цена 2019 г.). Поскольку самолет не может быть произведен полностью за счет применения аддитивных технологий, то наша максимальная оценка вклада АТ в производство всей продукции российского авиапрома - 20% от всей стоимости годового выпуска, чего вполне можно ожидать в условиях форсированного импортозамещения, мы обосновываем данную оценку на данных, приведенных в предыдущем разделе.

Принимая во внимание, что авиапром за счет АТ в состоянии снизить стоимость

[11] Анализ отрасли авиастроения в России в 2015-2019 гг, прогноз на 2020-2024 гг. // https://businesstat.ru/images/demo/aircraft_industry_russia_demo_businesstat (дата обращения: 29.04.2022)

крупных деталей, узлов и агрегатов летательных аппаратов в два раза (см. оценки снижения себестоимости продукции в случае применения АТ выше), то снижение стоимости самолета и вертолета за счет АТ должна достичь 10% (исходя из цифры, 20% всех используемых при постройке летательных аппаратов комплектующих, произведенных с применением АТ). Далее, мы допускаем, что снижение рыночной цены самолетов и вертолетов будет идти пропорционально снижению себестоимости, что вполне возможно в условиях усиления государственного регулирования рынка авиационной продукции гражданского назначения.

Коэффициенты абсолютной эластичности для спроса и предложения являются постоянными величинами при линейной зависимости.

Соответственно, исходим из хорошо известной формулы применяемой в микроэкономике с использованием коэффициентов эластичности для построения линейной функции рынка: $Ed = -b\ (P^*/\ Q^*)$, $Es = d(P^*/Q^*)$ (3)

Отсюда следует, что линейная функция спроса[12] должна принять вычисление и конечный вид по формуле (3): $(-\ 0{,}158) = -\ b\ (32000 / 631) = -\ 50{,}72b$; $b = 0{,}158 / 50{,}72 = 0{,}003$; $631 = a - (0{,}003)\ (32\ 000)$; $a = 631 + 96 = 727$; $Qd = 727 - 0{,}003P$. Для наглядности мы обозначили цену не как 32 млн. долларов за шт., а как 32 000 тыс. долларов за шт. По функции предложения наш алгоритм расчетов имеет следующие вид и результат: $0{,}1 = d(32\ 000 / 631) = 50{,}72d$; $d = 0{,}1 / 50{,}72 = 0{,}002$; $631 = c + (0{,}002)\ (32\ 000) = c + 64$; $c = 631 - 64 = 567$; $Qs = 567 + 0{,}002P$.

Теперь перейдем к кульминационному моменту нашего исследования: как изменение цены предложения на авиационную продукцию в результате воздействия на себестоимость аддитивных технологий может повлиять на ситуацию авиационной техники в России. Оптимистичный сценарий по АТ – 10% снижения себестоимости. Мы допускаем также, что России в короткие сроки удастся освоить выпуск более 600 самолетов и вертолетов (если учесть в этом показателе рост капитального ремонта техники отечественного и зарубежного производства – это вполне реализуемая задача). Соответственно, мы допускаем, повторимся, что рыночная стоимость будет снижаться пропорционально себестоимости. Отсюда получается, что новая цена единицы авиационной техники должна составить 28 800 долларов.

Исходим в наших рассуждениях из базового положения экономической теории, что $Qd = Qs$. В нашей модели $Qs = 567 + 0{,}002P$, где при оптимистическом прогнозе применения АТ $P = 28\ 800$ тыс. долларов, отсюда в таком случае $Qs = 624{,}6$, округлим до 625 шт. По аналогии $Qd = 727 - 0{,}003P = 640{,}6$, округлим до 641 шт. Вероятнее всего, при

[12] Формула линейной функции спроса: $Qd = a - b \times P$, формула линейной функции предложения: $Qs = a + bP$.

государственной поддержке (особенно в виде субсидий) российский авиапром в состоянии будет выпустить 641 самолет с учетом снижения цен от применения АТ (оговоримся, мы ведем речь о гипотетическом и оптимистическом варианте). Без применения АТ российские авиаперевозчики в состоянии получить, исходя из показателей 2019 г., напомним, 631 шт. авиационной техники. Таким образом, применение АТ при данном уровне развития этих технологий в России в состоянии обеспечить прирост выпуска самолетов и вертолетов на 10 единиц. Напомним, мы приняли во внимание капитальный ремонт авиационной техники, для которого также требуется изготовление новых сложных деталей, узлов и агрегатов.

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

Нетрудно заметить по ходу наших приведенных выше размышлений деталь – цены российского производителя самолетов все-таки ниже рыночных цен компаний западного авиапрома, если мы берем во внимание новую продукцию, так как отечественные цены на авиационную продукцию были поставлены в сильную зависимость от средней стоимости бывших в эксплуатации импортных образцов, а также (в части себестоимости) от цен на поставлявшиеся на рынки стран третьего мира российских вертолетов. Это есть еще один существенный фактор, снижающий мотивы российских авиационных компаний к внедрению АТ, как и других инноваций, в своих производственных процессах. Очевидно, как следует из нашего анализа, проведенного в данной статье, перспективы в аспекте хозяйственного эффекта от внедрения АТ в авиационной промышленности пока что незначительные.

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. Однако в перспективе возможны более высоко продуктивные результаты от внедрения АТ в авиационной промышленности РФ, но при условии, что ценовая политика в отрасли претерпит значительные изменения в сторону повышения средней стоимости летательного аппарата, а также при расширении в выпуске доли малой авиации, для производства которой АТ более востребованы, чем в случае с выпуском больших самолетов гражданской авиации.

Список использованных источников

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. // https://businesstat.ru/images/demo/aircraft_industry_russia_demo_businesstat

3. Барский Р. Сколько стоит новый пассажирский самолет? // Наука и техника https://naukatehnika.com/skolko-stoit-novyj-passazhirskij-samolet.html naukatehnika.com

4. Бронзова А.В., Немова Д.В. Эффективность ограждающих конструкций, созданных аддитивным методом // Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 126-128.

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

6. Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П. Технико-экономические аспекты аддитивного формообразования // Наукоёмкие технологии в машиностроении, № 7, 2016.

7. 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

8. Сироткин О.С. Современное состояние и перспективы развития аддитивных

технологий // Авиационная промышленность. 2015. №2. С. 22–25.

9. Текущие цены на гражданские самолёты: https://aeronautica.online/prices/current-aircraft-prices-mba-2017

10. Хаймович А.И., Петрова П.С., Кокарева В.В., Смелов В.Г. Повышение эффективности оперативного планирования распределения заказов аддитивного производства // 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? 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 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

References

1. Additive technologies in the aviation industry. Moscow: Rusatom – Additive Technologies LLC, an industry integrator of the Rosatom State Corporation. URL: // https://helirussia.ru/wp-content/uploads/2020/09/1.Prezentatsiya-Helirussia-2020-Rosatom

2. Analysis of the aircraft industry in Russia in 2015-2019, forecast for 2020-2024. // https://businesstat.ru/images/demo/aircraft_industry_russia_demo_businesstat

3. Barsky R. How much does a new passenger plane cost? // Science and Technology https://naukatehnika.com/skolko-stoit-novyj-passazhirskij-samolet.html naukatehnika.com

4. Bronzova A.V., Nemova D.V. Efficiency of enclosing structures created by the additive method // ISI Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Civil Engineering Institute of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Saint Petersburg, 2021. SS. 126-128.

5. Kubanova A.N. Materials of JSC "POLEMA" for industrial use in additive manufacturing // URL: // https://aviatp.ru/files/aviaevents-2019/MAKS/Polema.pdf

6. Morgunov Yu.A., Saushkin B.P. Technical and economic aspects of additive shaping // High-tech technologies in mechanical engineering, No. 7, 2016.

7. The main trends of the Russian market of metal powders for additive technologies // Additive technologies. 2022. №1. https://additiv-tech.ru/publications/osnovnye-tendencii-rossiyskogo-rynka-metallicheskih-poroshkov-dlya-additivnyh

8. Sirotkin O.S. The current state and prospects of development of additive technologies // Aviation industry. 2015. No. 2. – pp. 22-25.

9. Current prices for civil aircraft: https://aeronautica.online/prices/current-aircraft-prices-mba-2017

10. Khaimovich A.I., Petrova P.S., Kokareva V.V., Smelov V.G. Improving the efficiency of operational planning of distribution of orders of additive manufacturing // Bulletin of the International Market Institute. 2020. No.2. pp. 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? 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 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