

## ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ РОССИЙСКОГО ГРАЖДАНСКОГО АВИАСТРОЕНИЯ: ДИВЕРСИФИКАЦИЯ И УНИФИКАЦИЯ ПРОДУКЦИИ<sup>1</sup>

**Карпов А.Е.**

*Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского»  
Россия, г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1  
fansy95@mail.ru*

**Клочков В.В.**

*Национальный исследовательский центр «Институт им. Н.Е. Жуковского»  
Россия, г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1  
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,  
Россия, г. Москва ул. Профсоюзная д.65  
vlad\_klochkov@mail.ru*

*Аннотация: рассмотрены факторы, влияющие на экономическую эффективность диверсификации производственной программы российского авиастроения в условиях автономного развития российской авиации. Особое внимание уделено проблемам малых емкостей рынков и степени унификации продукции. Предложены математические модели для выбора рациональных решений.*

Ключевые слова: гражданское авиастроение, производственная программа, диверсификация, эффективность, емкость рынка, унификация.

### Введение

Санкции зарубежных стран против российской экономики, в т.ч. против гражданской авиации, ставят специфические задачи перед экономической наукой, теорией и методологией планирования. Само по себе планирование развития крупномасштабных организационно-технических систем (к которым относится и система «гражданская авиация – авиастроение», связанная технологически, хотя и состоящая формально из множества независимых и даже частных компаний) в условиях жестких ресурсных ограничений – причем, неденежной природы – снова становится актуальным. Причем, планировать функционирование и развитие таких систем уже приходится не в агрегированных стоимостных единицах, а очень детально и конкретно, на уровне натуральных показателей объемов различных ресурсов, не заменяющих друг друга. Поэтому у задач детализированного планирования большой размерности снова может появиться субъект управления.

В нынешнем, почти автаркическом режиме развития продукция отечественного авиастроения должна обеспечивать выполнение **всех** перспективных задач гражданской авиации России (включая все виды авиаперевозок и авиаработ). Это означает, на первый взгляд, что отрасль будет вынуждена выпускать широкую номенклатуру продукции, чтобы удовлетворить потребности всех сегментов внутреннего рынка гражданской авиационной техники.

Диверсификация продуктовой программы, с одной стороны,

- увеличивает «охват» целевых сегментов рынка, областей применения авиационной техники;
- повышает серийность выпуска продукции отрасли в целом (за счет большего охвата различных сегментов);
- сокращает риск изменения спроса в отдельных сегментах – что и является традиционным аргументом в пользу диверсификации производственных программ в обычных «рыночных» условиях развития.

В то же время диверсификация производственной программы, особенно для высокотехнологичных предприятий со сложной продукцией, не является «бесплатной». Она предполагает разработку и производства многих типов АТ, которые, возможно, станут мелкосерийными или штучными (особенно

<sup>1</sup> Исследование выполнено по проекту РНФ № 21-78-20001 «Разработка теории и модельного инструментария оптимизации управления диверсификацией оборонного производства в условиях экономического кризиса и роста угроз национальной безопасности России».

в расчете на сравнительно малый внутренний рынок Российской Федерации). И для мелкосерийного или, тем более, штучного производства АТ проявится негативное влияние сильных положительных эффектов масштаба, характерных для авиастроения и некоторых других высокотехнологичных отраслей. Широко известны и глубоко изучены, в т.ч. на уровне количественных моделей, следующие факторы сокращения удельных затрат с ростом серийности выпуска и численности парка авиационной техники:

- распределение постоянных затрат (на НИР, ОКР, технологическую подготовку производства – ТПП) на большие объемы выпуска;
- эффекты обучения (т.е. снижения удельных затрат с ростом накопленного опыта) в производстве [1, 2];
- аналогичные (т.е. тоже динамические, связанные с накоплением опыта) эффекты обучения в эксплуатации;
- оптимизация системы послепродажного обслуживания (ППО) как системы массового обслуживания с ростом численности обслуживаемого парка.

Отчасти сгладить негативные, с точки зрения стоимости разработки, производства и ППО, последствия вынужденной диверсификации производственной программы российского гражданского авиастроения, запертого на внутреннем рынке (и неизбежного при этом ее «дробления»), позволяет унификация продукции. Унифицированная продукция, при прочих равных условиях, дешевле специализированной в разработке, производстве и ППО. В то же время унифицированная продукция, возможно, хуже – с меньшим качеством и/или с большими затратами – выполняет различные задачи, чем специализированная. Поэтому необходимо искать оптимальный баланс между

- диверсификацией (и углублением специализации различных типов АТ в гражданской авиации страны)
- и унификацией типов АТ, в т.ч. предназначенных для выполнения различных задач,

на основе прогнозирования и минимизации стоимости ЖЦ всей продуктовой линейки российского авиастроения, выполняющей заданный объем задач гражданской авиации в стране.

## **1 Проблемы обеспечения достаточной серийности выпуска гражданской авиационной техники в России**

Критической проблемой российского гражданского авиастроения на данном этапе его развития является малый объем выпуска продукции, что не позволяет обеспечить рентабельность предприятий, особенно с учетом высоких постоянных затрат на исследования и разработки, а также сильных эффектов масштаба, в т.ч. эффекта обучения в производстве. Себестоимость продукции авиастроения при малой серийности выпуска может возрастать в несколько раз, в сравнении с продукцией с той же конструкцией и характеристиками, но выпускаемой массово (по меркам этой отрасли). Ниже на рис. 1 приведен пример зависимости средней себестоимости воздушного судна (ВС) от суммарной серийности их выпуска.

Это результат модельного расчета на основе реалистичных исходных данных, соответствующих по порядку величин стоимостным параметрам современных магистральных пассажирских самолетов [3]. Темп обучения был принят равным 15%, т.е. при каждом удвоении накопленного выпуска удельные трудозатраты на очередной экземпляр сокращаются на 15%. Также учитывается, что разработка нового типа ВС стоит порядка нескольких млрд. долл., а иногда и десятков млрд. Из графика видно, что при малых объемах выпуска, менее 100-200 единиц, удельная себестоимость самолета может быть в 1,5-2 и более раз выше, чем для относительно массовых моделей, выпускаемых сотнями и тысячами единиц [4, 5]. При этом следует учитывать, что характерные численности парков даже наиболее массовых узкофюзеляжных среднемагистральных самолетов семейств А-320 и Boeing-737 в России не превышают указанных значений. А менее массовые дальнемагистральные широкофюзеляжные самолеты в парках российских авиакомпаний еще более малочисленны – всего около 100 единиц (причем, в автаркическом режиме развития потребность в них нуждается в уточнении, поскольку ряд дальних «курортных» направлений с высоким пассажиропотоком стал для российских перевозчиков и пассажиров недоступен).

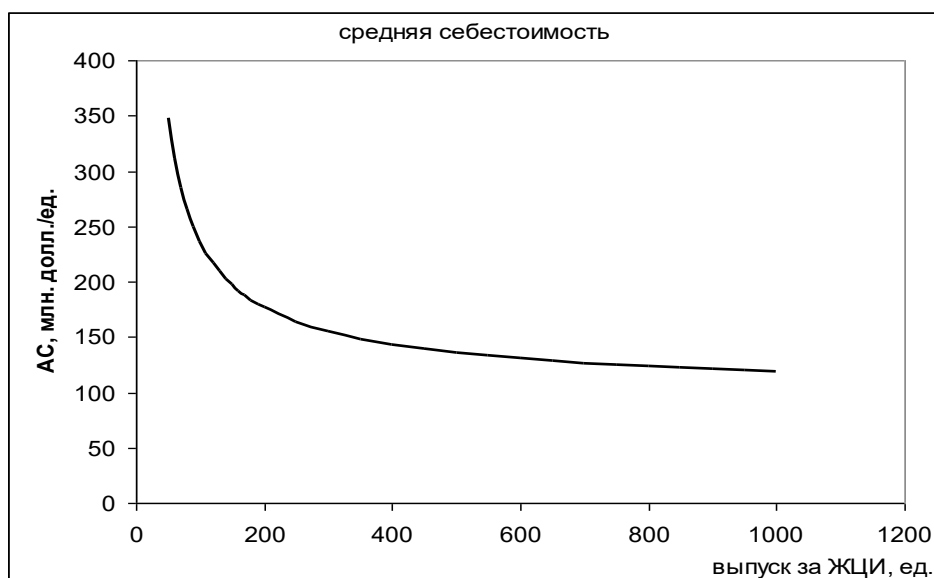


Рис. 1. Пример зависимости себестоимости АТ от серийности выпуска

Малая серийность выпуска авиационной техники влечет за собой и проблемы в эксплуатации – от удорожания послепродажного обслуживания относительно малочисленного парка изделий (подробнее см. [6]) до низких темпов исправления конструктивно-производственных недостатков вследствие медленного накопления опыта эксплуатации (этим динамическим аспектам уделено особое внимание в работах [7, 8, 9]). Ниже на рис. 2 приведен пример зависимости удельной (в расчете на летный час) стоимости технического обслуживания и ремонта, ТОиР (с учетом прочих затрат на поддержание готовности парка АТ, включая содержание сменных изделий на время ремонта штатных, потери вследствие вынужденных простоев АТ, и т.п.).

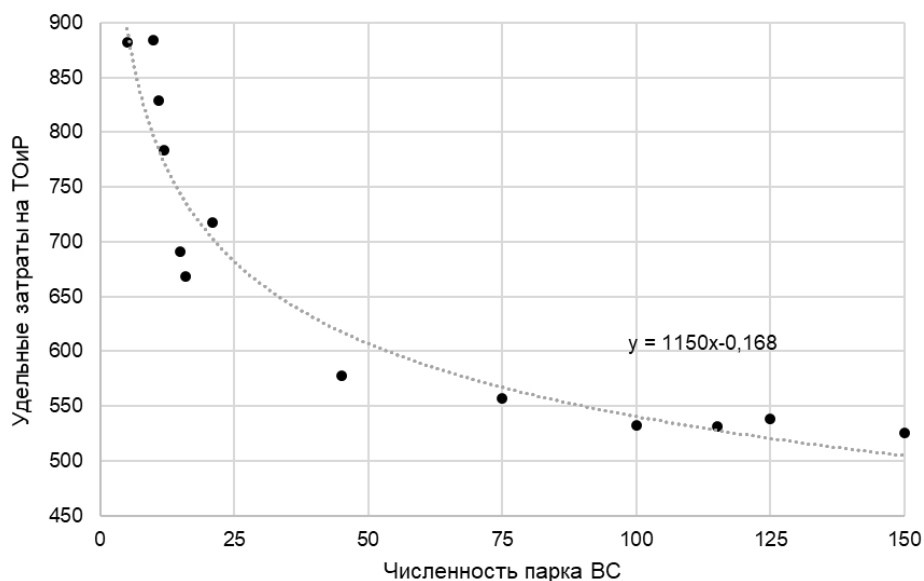


Рис. 2. Пример зависимости удельной стоимости ТОиР АТ от численности парка в эксплуатации

Приведенный на рисунке 2 график также является результатом модельных расчетов [10] на основе реальных данных о стоимости и периодичности операций ТОиР самолетов семейства А-320 и установленных на них двигателей. Как видно из этих, вполне типичных, графиков, при численности парка однотипной АТ порядка 10 самолетов удельная стоимость ТОиР может быть вдвое больше, чем для парков численностью порядка сотен изделий. Следует учитывать, что у отдельных, даже крупнейших российских авиакомпаний однотипные парки самолетов и двигателей относятся именно к малочисленным, по указанным меркам, и не превосходят нескольких десятков ВС.

С учетом вышеописанных положительных эффектов масштаба, для малосерийных и малочисленных типов АТ включается пагубная положительная обратная связь: продукция, менее

эффективная в эксплуатации, пользуется меньшим спросом, что усугубляет проблему малой серийности выпуска, и т.п. Схематично этот «замкнутый круг» (с учетом традиционного для отечественного машиностроения отставания от зарубежных конкурентов в сфере ППО) изображен на рис. 3.

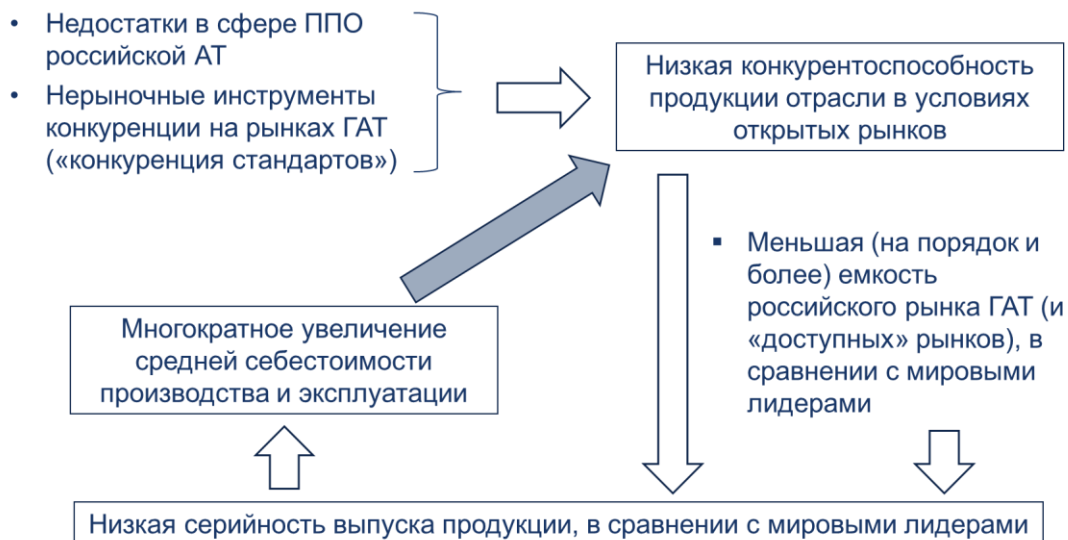


Рис. 3. Схематичное представление системных проблем формирования эффективной продуктовой стратегии российского гражданского авиастроения

Нынешняя производственная программа российского гражданского авиастроения характеризуется необычной для столь малосерийной отрасли широтой – по номенклатуре продуктовой линейки Россия сравнима с ведущими мировыми центрами гражданского авиастроения (США и ЕС), выпускающими сотни только магистральных самолетов в год [11], и реализующими продукции на общие суммы, в десятки раз превосходящие выручку российского гражданского авиастроения. В итоге большинство изделий в продуктовой программе российского гражданского авиастроения остается штучным. Далее эта проблема усугубляется несовершенством производственной структуры отрасли, индустриальной модели (подробнее см. [12, 13]). Вместо уже получившей распространение в передовых авиастроительных державах мира специализации производителей компонентов в масштабах отрасли, в России сохраняется, по существу, обособленное производство большинства изделий в рамках замкнутых вертикально интегрированных предприятий. В итоге компоненты для каждой, и без того чрезвычайно малосерийной модели, выпускаются практически отдельно, обособленно, что усугубляет проблему малой серийности (и, соответственно, высокой себестоимости) уже на уровне компонентов.

Истоки чрезвычайно широкой продуктовой линейки российского авиастроения следует искать в наиболее тяжелом периоде развития отрасли (в 1990-е – начале 2000-х гг.), когда создание новых моделей для различных сегментов рынка рассматривалось авиастроительными предприятиями именно как диверсификация деятельности, дающая шанс на достижение рыночного успеха хотя бы в каких-то нишах (т.е. рассматривалось не столько снижение рыночного риска спада спроса в отдельных сегментах, сколько повышение шансов на успех хоть в каких-то сегментах). В итоге нередко оказывалось, что даже при появлении ненулевого спроса на отдельные модели, в целом понесенные затраты на создание всей, формально широкой, продуктовой линейки не окупились бы. Ожидалось, что при интеграции отрасли при создании Объединенной авиастроительной корпорации, ОАК, по крайней мере, должны были быть подвергнуты критическому анализу проекты разных предприятий, конкурирующие друг с другом в одних и тех же рыночных нишах (как, например, Sukhoi SuperJet и Ан-148, Ту-204/214 и МС-21, и др.). Опыт показал, что этого не произошло, и сама интеграция осталась, в основном, формальной, а изменения производственной структуры и производственной программы отрасли в сторону более «интегрированных» происходят чрезвычайно медленно.

Но даже если нерациональное дублирование изделий и внутренняя конкуренция будут сведены к минимуму, остается актуальным вопрос о целесообразности освоения широкого спектра рыночных ниш, классов авиационной техники, при вынужденно малой емкости доступных рынков. Актуальность этого вопроса дополнительно возросла в связи с тем, что в сложившейся с февраля 2022 г. геополитической обстановке российское авиастроение, возможно, будет вынуждено удовлетворять нужды всех сегментов российской гражданской авиации, которая, в свою очередь, будет решать все

задачи обеспечения транспортной связанности территории России, а также государственные задачи в разных отраслях экономики, решаемые с помощью авиации (в рамках авиационных работ и услуг). Теперь предполагаемая диверсификация производственной программы российского гражданского авиастроения преследует уже не столько цели снижения рыночных рисков для коммерческих авиастроительных предприятий (притом, что сам коммерческий, рыночный характер отечественного авиастроения в сложившихся условиях становится еще более дискуссионным, хотя и ранее он был, скорее, формальным, подробнее см. [14]), сколько цели более эффективного удовлетворения государственных, социальных нужд с помощью продукции авиастроения.

## 2 Унификация продукции как способ сокращения затрат при диверсификации производственной программы

Унификация продукции позволяет, выпуская различные ее типы, все-таки избежать резкого возрастания себестоимости из-за малой серийности каждого конкретного типа. Используется технологическая общность между разными типами продукции в продуктовой линейке, что позволяет увеличить серийность общих компонентов (или производственных операций), избежать хотя бы частично многократного дублирования постоянных затрат на НИР, ОКР и ТПП. Поэтому даже в менее стесненных условиях развития, чем у современного российского авиастроения, необходимо искать возможности унификации продукции.

Для примера рассмотрим вопрос о целесообразности разработки и освоения в России производства дальнемагистральных самолетов (ДМС). С одной стороны, как показывает и реальная статистика российской гражданской авиации, общая потребность в них даже при обширной программе международных полетов не превышала приблизительно сотни воздушных судов (ВС). Если же такие ВС будут использоваться, преимущественно, для полетов между Европейской частью России и Дальним Востоком, а также для связей с несколькими дружественными странами, суммарная потребность в ДМС окажется еще ниже. С другой стороны, как показывают расчеты [15], оптимальной для нашей страны оказывается сравнительно малая вместимость ДМС – около 200 пассажиров, что соответствует именно узкофюзеляжным, а не широкофюзеляжным самолетам. Это, в свою очередь, однозначно располагает к унификации ДМС для России с узкофюзеляжными среднемагистральными самолетами. Технически такая стратегия вполне реализуема – известны примеры создания дальнемагистральных (или, по крайней мере, с дальностью полета, увеличенной с 5-7 до 8-10 тысяч км и более) самолетов на базе узкофюзеляжных среднемагистральных – как за рубежом (А-321XLR, А321XLR NEO), так и в нашей стране (Ту-234/Ту-204-300). Увеличение дальности полета достигалось за счет частичного сокращения вместимости и роста емкости топливных баков, при сохранении большей части планера, полной унификации двигателей и бортового оборудования.

И в других сегментах рынков ВС и авиаперевозок чрезвычайно желательна унификация изделий разных сегментов между собой как основное средство обеспечения приемлемой серийности выпуска хотя бы значительной части компонентов, и, в конечном счете, приемлемой себестоимости производства и послепродажного обслуживания.

Но насколько унификация сильна? И как можно, не прибегая к прямому счету на основе стоимостных параметров конкретных типов АТ (тем более, что они для перспективной продукции практически неизвестны), оценить именно глубину унификации изделий в продуктовой линейке? Предлагается использовать для этого описанный ниже модельный подход.

Рассмотрим следующую упрощенную экономико-математическую модель.

Затраты на производство единственного типа изделий в объеме  $q$  (с учетом эффекта обучения в производстве, кривая обучения – логарифмическая с постоянным темпом):

$$TC = FC + VC = f + c_0 \times \frac{q^a}{a}.$$

Пусть модельный ряд насчитывает  $n$  типов изделий, расположенных в порядке убывания степени общности (ПКИ, необходимого оборудования и т.п.):

$$i = 1, 2, \dots n.$$

В среднем  $i$  наиболее близких друг к другу (в части постоянных затрат на НИР, ОКР, ТПП) типов изделий требуют следующей общей для них суммы постоянных затрат:

$$FC^i = f \times \alpha^i.$$

В среднем  $i$  наиболее близких друг к другу (в части переменных затрат на оплату труда, материалы) типов изделий требуют следующей общей для них величины переменных затрат на первый экземпляр изделия:

$$c_0^i = c_0 \times \beta^i$$

и будут выпущены в общем объеме ( $i \cdot q$ ) изделий.

Коэффициенты технологической общности расположены в порядке убывания:

$$\alpha^n \leq \alpha^{n-1} \leq \dots \leq \alpha^2 \leq \alpha^1,$$

$$\beta^n \leq \beta^{n-1} \leq \dots \leq \beta^2 \leq \beta^1.$$

Тогда можно оценить суммарные затраты на разработку и производство всей продуктовой линейки (с описанными выше усредненными по всей линейке параметрами):

$$TC_{\Sigma} = FC_{\Sigma} + VC_{\Sigma} = f \times \sum_{i=1}^n \alpha^i + c_0 \times \sum_{i=1}^n \beta^i \times \frac{(i \cdot q)^a}{a}.$$

Параметрические расчеты с применением предложенной модели позволяют определить условия, при которых диверсификация производственной программы приведет к значительному, или, наоборот, незначительному росту затрат на разработку и производство АТ. Но уже на основе качественного анализа предложенной модели можно сделать некоторые выводы. Диверсификация продуктовой программы не приведет к значительному росту затрат на разработку и производство ГАТ, если:

- она позволяет значительно повысить общую серийность выпуска ГАТ, т.е. планируется освоение (благодаря диверсификации) новых емких сегментов рынка,
- «профиль» технологической общности различных типов АТ таков, что подавляющая часть затрат (постоянных и переменных) является «общей» для большинства типов изделий в производственной программе отрасли.

Визуализация такого профиля технологической общности получается весьма наглядной, если изобразить в порядке убывания вышеназванные коэффициенты технологической общности. Если получившийся убывающий ряд остается сравнительно пологим почти до конца, это и означает, что в среднем по продуктовой линейке технологическая общность разных изделий остается высокой. И, наоборот, сильное убывание указанного ряда уже после первых членов указывает на то, что реальная технологическая общность в отрасли низка – и, соответственно, унификация продукции вряд ли позволит достичь значительного сокращения затрат на разработку и производство.

Сохранение для большего количества изделий в продуктовой линейке высокого коэффициента технологической общности, в свою очередь, возможно благодаря

- формированию унифицированных семейств воздушных судов и авиадвигателей (наподобие уже упомянутых семейств узкофюзеляжных самолетов А-319/320/321, Boeing-737);
- модульной конструкции (в т.ч. в части силовой установки и, особенно, бортового оборудования).

## Заключение

В рамках упрощенной экономико-математической модели можно оценить влияние степени унификации изделий гражданского авиастроения на суммарную себестоимость их производства. В то же время следует учитывать, что унифицированные изделия авиационной техники могут быть менее эффективными в эксплуатации по сравнению с узкоспециализированными. Оптимизационную задачу формирования продуктовой линейки следует решать по критерию минимума суммарных затрат на создание, разработку, производство всей номенклатуры гражданской авиационной техники и на обеспечение ее эксплуатации в течение жизненного цикла для решения всей совокупности задач, возлагаемых в стране на гражданскую авиацию (в т.ч. и в перспективе).

В итоге определяется рациональная степень диверсификации продуктовой программы российского гражданского авиастроения.

## Литература

1. *Benkard C.L.* A Dynamic Analysis of the Market for Wide-bodied Commercial Aircraft // Review of Economic Studies. Vol. 71, No. 3, Jun., 2004. – P.581-611.
2. *Wright T.P.* Factors Affecting the Cost of Airplanes // Journal of Aeronautical Sciences. Vol. 3, February 1936. – P.122-128.
3. *Клочков В.В.* Управление инновационным развитием гражданского авиастроения. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. – 280с.
4. *Клочков В.В., Критская С.С.* Прогнозирование долгосрочных экономических последствий введения санкций против российской высокотехнологичной промышленности (на примере гражданского авиастроения) // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2014, № 41 (278). – С.14-25.
5. *Клочков В.В., Нижник М.В.* Анализ емкости российского рынка гражданской авиатехники и рисков ее изменения // Маркетинг в России и за рубежом. 2009, № 4. – С.98-112.

6. *Клочков В.В.* Организация конкурентоспособного производства и послепродажного обслуживания авиадвигателей. – М.: Экономика и финансы, 2006. – 464с.
7. *Клочков В.В., Варюхина Е.В.* Экономические аспекты определения ответственности производителей за отказы техники // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2010. – С.141-151.
8. *Клочков В.В., Критская С.С.* Метод оценки стартовой скидки на новые типы гражданских воздушных судов // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2014, № 45 (231). – С.2-11.
9. *Критская С.С., Клочков В.В.* Анализ влияния темпов освоения производства новой техники на ее конкурентоспособность // Экономический анализ: теория и практика. 2013, № 4 (307). – С.11-22.
10. *Карпов А.Е.* Оценка стоимости поддержания готовности парка авиационной техники в зависимости от его численности и структуры // Друкеровский Вестник. 2020, №3 (35). – С.118-133.
11. Aircraft Manufacturing / in: Economic Census. Manufacturing. Industry series. U.S. Census Bureau, 1999, 2004, 2009.
12. *Байбакова Е.Ю., Клочков В.В.* Экономические аспекты формирования сетевых организационных структур в российской наукоёмкой промышленности // Управление большими системами. 2010. – С.697-721.
13. *Клочков В.В.* Оценка экономической эффективности интеграции авиационного двигателестроения // Полет. 2006, № 7. – С.28-33.
14. *Клочков В.В., Рождественская С.М.* Управление реализацией авиастроительных проектов: стратегические аспекты накопления компетенций // Друкеровский вестник. 2019, № 5. – С.98-112.
15. *Егошин С.Ф., Клочков В.В.* Формирование требований к дальнемагистральному самолету для внутрироссийских авиалиний / Материалы 13-й Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества» (Москва, 2021). – М.: МГТУ ГА, 2021. – С.457-459.