

Методы прогнозирования экономической эффективности межотраслевого трансфера авиационных технологий



В. В. Клочков,
д. э. н., к. т. н., директор департамента,
Национальный исследовательский центр
«Институт им. Н. Е. Жуковского»/в. н. с.,
Институт проблем управления
им. В. А. Трапезникова РАН
vlad_klochkov@mail.ru



Е. В. Войтенков,
м. н. с., Центральный аэрогидро-
динамический институт им. профессора
Н. Е. Жуковского*/старший менеджер
проектов, Общество с ограниченной
ответственностью «ЭНГО Инжиниринг»
e.voytenkov@mail.ru

Предложен метод прогнозирования экономической эффективности трансфера технологий авиастроения в другие отрасли промышленности, прежде всего, транспортного и энергетического машиностроения. В качестве показателя эффективности изделий отрасли-реципиента приняты полные удельные затраты на единицу продукции, выпускаемой с помощью этих изделий — например, на тонно-километр, киловатт-час и т. п. Затраты разделены по стадиям жизненного цикла (исследования и разработки, производство, эксплуатация). Критерием эффективности трансфера авиастроительных технологий в данную отрасль предложено считать сокращение полных удельных затрат благодаря применению этих технологий. Показано, что эффективность трансфера технологий авиастроения, весьма совершенных, но дорогостоящих, зависит от широты модельного ряда отрасли-реципиента, серийности выпуска изделий, интенсивности их эксплуатации. Определены группы технологий авиастроения, которые обладают значительным потенциалом трансфера в другие отрасли промышленности, и группы технологий, дороговизна которых вряд ли окупится за счет улучшения различных характеристик изделий.

Ключевые слова: трансфер, авиационные технологии, эффективность, прогнозирование, экономикоматематическая модель.

Введение

Широко известен тезис о том, что авиастроение и другие наукоемкие и высокотехнологичные отрасли промышленности служат «инновационным локомотивом» национальной экономики (см., например, [2, 4, 5, 10]), нередко говорится о мультипликативных эффектах, которые такие отрасли оказывают на экономику. Однако практически отсутствуют количественные оценки вышеназванных эффектов, и даже четкие качественные описания механизмов благотворного воздействия авиастроения и других наукоемких и высокотехнологичных отраслей на прочие отрасли. По мнению авторов, основной механизм такого положительного влияния состоит в трансфере технологий авиастроения в другие отрасли промышленности.

Причем, технологии здесь понимаются в современном, широком смысле. Это не только (и, строго говоря, не столько) производственные технологии, т. е. способы изготовления изделий и их компонент, но, в первую очередь, продуктовые технологии, т. е. конструктивные решения, принципы действия изделий и их подсистем. Еще один вид технологий, в современном понимании — это конструкционные и расходные материалы, которые применяются для изготовления изделий (в том числе различные вспомогательные материалы, используемые в производственных процессах), а также в процессе их эксплуатации — например, топлива, смазки, теплоносители и др. Производственные технологии также понимаются более широко, чем только способы изготовления изделий. В современном понимании, они включают в себя способы, методы

и средства, используемые для поддержания всех стадий жизненного цикла изделий. Другими словами, это также технологии прикладных исследований, проектирования и испытаний изделий, послепродажного обслуживания, ремонта и модернизации. Как будет показано далее, из всех производственных технологий авиастроения именно эти, «непроизводственные» их виды, обладают наибольшим потенциалом трансфера в прочие отрасли.

Трансфер, т. е. передача технологий в прочие отрасли, на первый взгляд, позволяет, прежде всего, достичь экономии затрат на их разработку, т. е. на прикладные НИР. Если некоторые прикладные исследования уже были проведены в интересах авиастроения, и их результаты — новые технологии — применимы в каких-либо других отраслях-реципиентах (пусть даже и требуют адаптации), тогда в этих отраслях уже не потребуется проводить в полном объеме дублирующие прикладные исследования. На этом эффекте, сокращении потребных затрат на НИР, основана эффективность межотраслевой интеграции исследований и разработок, т. е. их выполнения в интересах сразу нескольких отраслей. Однако результативность и эффективность трансфера технологий авиастроения в прочие отрасли определяется не только и, как правило, не столько экономией на НИР, сколько теми изменениями, которые повлечет применение авиационных технологий на последующих стадиях жизненного цикла продукции отраслей-реципиентов — при разработке, производстве изделий и, наконец, в эксплуатации. Поэтому эффективность трансфера технологий можно оценить, лишь рассмотрев жизненный цикл продукции отраслей-реципиентов.

Разумеется, такой анализ эффективности трансфера технологий авиастроения желательно проводить до начала прикладных НИР, организуемых в рамках межотраслевой интеграции. Прежде чем принять решение о разработке технологий в интересах нескольких отраслей и областей техники, следует оценить комплексно эффективность применения будущих технологий в этих отраслях. Если в других отраслях новые технологии не будут востребованы, теряет смысл их совместная разработка, и не удастся достичь какой бы то ни было экономии благодаря «исключению дублирования». Поэтому анализ эффективности применения предлагаемых к разработке технологий во всех отраслях — «кандидатах» на межотраслевую интеграцию — необходимый этап при принятии соответствующих решений. Но трансфер технологий авиастроения может и не предполагать межотраслевой интеграции исследований и разработок¹. Вполне возможно, что они уже проведены, и новые технологии уже разработаны в интересах авиастроения. В этом случае основные затраты на НИР уже понесены, и их возможная экономия в авиастроении уже неактуальна. Но те же технологии далее могут быть эффективно приложены к прочим отраслям (принося им поло-

жительный эффект) — возможно, ценой некоторой адаптации. В то же время, их применение в некоторых отраслях может и не быть целесообразным.

Для систематического (регулярного, сводящего к минимуму возможности пропусков и риск волюнтаризма) выявления возможных областей применения авиационных технологий целесообразно

- построение матрицы «отрасли (виды техники) — используемые технологии»
- и выделение отраслей, в которых могут применяться те или иные технологии, создаваемые в интересах авиастроения.

Качественная информация о наименованиях технологий в этой матрице должна дополняться количественными характеристиками требуемых в различных отраслях уровней совершенства технологий. Если, например, авиастроение является наиболее «требовательной» отраслью в части тех или иных характеристик, тогда созданные в его интересах технологии автоматически применимы в других отраслях и видах техники. Однако таким образом определяется именно техническая возможность их применения (и, соответственно, трансфера готовых технологий или межотраслевой интеграции будущих исследований и разработок). А целесообразность (экономическая и прочая) использования авиационных технологий в прочих отраслях должна оцениваться отдельно, и может быть оценена с помощью предложенного в данном исследовании методического инструментария.

Систематическое выявление возможностей и целесообразности трансфера технологий, разработанных в интересах авиастроения, в иные отрасли, возможно на базе следующего подхода. На основе стратегических планов научно-технологического развития авиастроения необходимо определить полный набор необходимых технологий и приоритетных направлений технологического развития. Далее на всем множестве отраслей и видов техники (потенциальных реципиентов) определяются те из них, в которых также используются либо будут использоваться в будущем выявленные технологии. Иначе говоря, выявляется полный спектр возможных смежных рынков. Наконец, определяются их количественные характеристики — прежде всего, емкости этих смежных рынков, и вклад технологий, разработанных в интересах авиастроения, в повышение эффективности и конкурентоспособности различных продуктов на этих смежных рынках. В данной работе и предлагается подход к количественному определению этого вклада.

Следует отметить работы [9, 16] и др., в которых исследуются возможности, а также систематизируются конкретные, фактически реализованные примеры применения различных технологий авиастроения в прочих отраслях. Однако при этом отсутствуют количественные оценки эффективности трансфера технологий авиастроения в те или иные отрасли и области техники. Также обширный массив работ в экономической литературе посвящен изучению самих процессов и механизмов трансфера технологий. Среди них есть и работы, посвященные, как декларируется в названиях, оценке эффективности трансфера технологий — например, [1, 3, 11, 13-15, 19, 20]. Однако этих работах,

¹ При этом, как здесь обосновано, противоположное — строго обязательно. То есть межотраслевая интеграция исследований и разработок в том случае, если трансфер ожидаемых технологий в некую отрасль-участницу нецелесообразен (как показывает комплексный анализ на основе рассмотрения всего жизненного цикла), бессмысленна для этой отрасли.

как правило, оценивается «проницаемость» инновационных систем (национальной, региональных, корпоративных) для инноваций, прохождение последних по звеньям инновационной цепочки «генерация знаний — создание технологий — производство и продажа инновационной продукции». Таким образом в центре внимания — «вертикальный» (вдоль инновационной цепочки) трансфер инноваций из науки (прежде всего, прикладной, в которой создаются новые технологии) в промышленность, институциональные его аспекты, возможные препятствия и пути их преодоления. Что касается «горизонтального», межотраслевого обмена технологиями, известны работы, в которых выполнены апостериорные статистические оценки масштабов и интенсивности этих процессов, реже — их результативности для отраслей-реципиентов, см. [8] и др. Однако в литературе отсутствуют простые методы априорной оценки, прогнозирования эффективности применения технологий в других отраслях (потенциальных реципиентах), основанные на измеримых показателях, характеризующих сами технологии и эти отрасли, их специфику (характерную структуру затрат, стоимости и длительности жизненного цикла продукции, серийность выпуска и т. п.). Такие методы позволили бы достаточно обоснованно оценить потенциал применения передовых технологий, разработанных в интересах каких-либо отраслей, в прочих отраслях, как по окончании прикладных исследований, так и на стадии их планирования.

Модель удельных затрат на единицу продукции транспортного и энергетического машиностроения, и критерий экономической эффективности трансфера технологий

В силу повышенных требований к авиационной технике (что и определяет возможности их применения в «менее требовательных» отраслях), как правило, технологии авиастроения являются весьма сложными и дорогостоящими, поэтому априорной целесообразности их применения в других отраслях и видах техники, как правило, нет. Следовательно, актуальна разработка простых экономико-математических моделей и методов, позволяющих оценить, спрогнозировать эффективность либо неэффективность применения технологий авиастроения — как правило, передовых по уровню совершенства, но дорогостоящих — в тех или иных отраслях-реципиентах. Это и является темой данной работы.

Согласно широко распространенному определению (см., например, [6, 7]), экономическая эффективность — это измеренное определенным образом соотношение затрат и результатов. Экономическая эффективность применения технологий, разработанных в интересах авиастроения, в других отраслях и областях техники может быть обусловлена снижением затрат на производство единицы продукции заданного качества. Причем, применительно к транспортному и энергетическому машиностроению, следует рассматривать даже не сами изделия как таковые, а конечную продукцию, производимую с их помощью, не столько товары, сколько услуги, например, транспортные,

измеряемые в пассажиро- или тонно-километрах; энергию, измеряемую в кВт·ч, и т. д. И если результаты использования изделий данной совокупности отраслей сводятся к производству некоторой конечной продукции, как правило, услуг — энергии, транспортной работы и т. п., тогда эффективность изделий (и заложенных в них технологий) может быть выражена удельными суммарными затратами на единицу конечной продукции. При трансфере передовых технологий, созданных в интересах авиастроения, в другие отрасли транспортного и энергетического машиностроения, некоторые компоненты вышеописанных удельных затрат сократятся, а некоторые, возможно, и возрастут — тем не менее, суммарные издержки в расчете на единицу конечной продукции могут снизиться. Именно в этих случаях трансфер технологий авиастроения может быть экономически эффективным.

Для анализа возможностей эффективного применения авиационных технологий в других областях и выявления наиболее вероятных условий достижения положительного экономического эффекта трансфера технологий, можно рассмотреть упрощенную и достаточно универсальную модель удельных затрат на единицу конечной продукции, производимой с помощью изделий машиностроения. Как известно, издержки можно классифицировать различными способами — по экономическим статьям затрат, по стадиям жизненного цикла, и т. п. Здесь предлагается их классификация по стадиям жизненного цикла изделий, т. е. выделяются:

- затраты на прикладные научно-исследовательские работы (НИР), направленные на создание соответствующего комплекса технологий $C_{НИР}$ (общего, потенциально применимого в нескольких отраслях);
- затраты на опытно-конструкторские работы (ОКР) по разработке конкретных образцов (типов, моделей) продукции $C_i^{ОКР}(m_i)$, где m_i — модельный ряд (количество типов изделий) в i -й отрасли (области техники), $i=1, 2, \dots, n$;
- затраты на производство продукции (изделий) $C_{ij}^{произв}(Q_{ij})$, где Q_{ij} — объем выпуска (серийность) j -й модели изделий, выпускаемой в i -й отрасли (области техники), $j=1, 2, \dots, m_i$;
- текущие затраты на эксплуатацию изделий $C_{ij}^{экспл.}$.

Последние представляют собой удельные затраты на эксплуатацию j -й модели изделий, выпускаемой в i -й отрасли (области техники), в расчете на единицу продукции, производимой с помощью данных изделий — например, на километр пробега, летный час, пасс.-км или кВт·ч, и т. п. Они включают в себя, прежде всего, прямые затраты на приобретение ресурсов, непосредственно используемых в процессе эксплуатации — различных видов сырья (например, топлива или иных энергоносителей, расходных материалов), наемного труда эксплуатационного персонала, и т. п. Поэтому их можно упрощенно представить в следующем виде:

$$C_{ij}^{экспл.} = \sum_{r=1}^s g_{ij}^r p^r,$$

где g_{ij}^r — удельный (в расчете на единицу продукции, производимой с помощью данных изделий) расход

ресурсов вида $r=1, 2, \dots, s$ для j -й модели изделий, выпускаемой в i -й отрасли (области техники); p^r — цена ресурсов вида $r=1, 2, \dots, s$.

Тогда суммарные затраты за весь жизненный цикл продукции рассматриваемой совокупности отраслей составят

$$C^\Sigma = C^{\text{НИР}} + \sum_{i=1}^n C_i^{\text{ОКР}}(m_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} C_{ij}^{\text{произв}}(Q_{ij}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} Q_{ij} T_{ij} \eta_{ij} C_{ij}^{\text{экспл}},$$

где T_{ij} и η_{ij} — соответственно, срок службы и интенсивность использования (выраженная в количестве единиц продукции, производимой с помощью данных изделий) для j -й модели изделий, выпускаемой в i -й отрасли (области техники). Разумеется, эти показатели, как и удельные эксплуатационные затраты, имеют смысл усредненных по всему парку выпущенных изделий. Введем еще некоторые усредненные параметры:

- $c_{\text{модель}}^{\text{ОКР}}$ — усредненные затраты на разработку одной модели изделий в рассматриваемой совокупности отраслей;
- $c_{\text{ед}}^{\text{произв}}$ — усредненные затраты на производство одного изделия в рассматриваемой совокупности отраслей;
- $c_{\text{удельн}}^{\text{экспл}}$ — усредненные удельные затраты на эксплуатацию изделий в рассматриваемой совокупности отраслей, в расчете на единицу продукции, производимой с помощью данных изделий. В свою очередь, они могут быть выражены через усредненные ресурсоемкости производства продукции с помощью данных изделий:

$$c_{\text{удельн}}^{\text{экспл}} = \sum_{r=1}^s g_{\text{средн}}^r p^r.$$

Также введем усредненную интенсивность использования и срок службы изделий в рассматриваемой совокупности отраслей, соответственно, T и η . Усредненную численность модельного ряда в каждой отрасли обозначим m , а усредненный объем выпуска каждой модели (серийность) обозначим Q . Тогда можно следующим образом выразить средние по всей совокупности отраслей удельные затраты на единицу продукции, производимой с помощью выпускаемых ими изделий:

$$c = \frac{C^\Sigma}{nmQT\eta} = \frac{C^{\text{НИР}}}{nmQT\eta} + \frac{c_{\text{модель}}^{\text{ОКР}}}{QT\eta} + \frac{c_{\text{ед}}^{\text{произв}}}{T\eta} + c_{\text{удельн}}^{\text{экспл}} = \frac{C^{\text{НИР}}}{nmQT\eta} + \frac{c_{\text{модель}}^{\text{ОКР}}}{QT\eta} + \frac{c_{\text{ед}}^{\text{произв}}}{T\eta} + \sum_{r=1}^s g_{\text{средн}}^r p^r.$$

В рамках данной работы, это и есть основной показатель экономической эффективности изделий и заложенных в них технологий. Слагаемые в правой части полученного итогового выражения для удельных затрат на единицу конечной продукции c отражают вклад в эти суммарные удельные затраты последовательно рассмотренных стадий жизненного цикла — прикладных НИР, ОКР, производства и собственно процесса эксплуатации, сопровождающегося расходом различных ресурсов. Их соотношение

и выражает структуру стоимости жизненного цикла изделий, СЖЦ. Произведения в знаменателях первых трех дробей отражают распределение соответствующих стоимостей:

- производства одного изделия — на всю продукцию, выпущенную с его помощью за весь срок службы;
- разработки одной модели — на все выпущенные изделия данной модели;
- прикладных НИР — на все отрасли, использующие созданный в результате научно-технической задел, и на все модели изделий, разработанных и выпускаемых в этих отраслях.

Соответственно, даже если НИР были дорогостоящими, затраты на создание комплекса технологий могут распределяться между несколькими отраслями и множеством моделей изделий, выпускаемых в них.

Затраты на ОКР могут распределяться на все изделия соответствующей модели, что, опять-таки, наиболее существенно, если серийность выпуска отдельных моделей высока.

Производственные затраты распределяются на весь срок службы изделия и на всю продукцию, выпущенную с его помощью (например, произведенную энергию, выполненную транспортную работу). Высокая длительность и/или интенсивность эксплуатации изделий некоторых отраслей приводит к тому, что доля собственно цены в общей стоимости жизненного цикла становится малой. Как правило, даже для дорогостоящих современных гражданских воздушных судов вклад производственных затрат (интегрально выражаемых ценой воздушного судна, которая, впрочем, включает в себя также стоимости НИР, ОКР и прибыль производителей) в суммарные удельные затраты на летный час или пассажиро-километр в несколько раз ниже, чем вклад текущих эксплуатационных затрат. Цена изделия (магистрального пассажирского самолета), составляющая десятки или даже сотни млн долларов, распределяется на 40-80 тысяч летных часов, сотни миллионов пассажиро-километров, которые воздушное судно выполнит за десятки лет эксплуатации.

И лишь удельные эксплуатационные затраты (в расчете на единицу конечной продукции, производимой с помощью рассматриваемых изделий) входят в выражение для суммарных удельных затрат непосредственно, т. е. не распределяются на какие-либо объемы. Применительно к продукции авиастроения, эти текущие затраты (т. е. затраты на эксплуатацию воздушных судов) включают в себя, помимо затрат на ГСМ, также:

- затраты на оплату труда экипажа и другого эксплуатационного персонала,
- разнообразные сборы (за услуги управления воздушным движением, за услуги аэропортов и т. п.),
- затраты на техническое обслуживание и ремонт авиационной техники (в свою очередь, включающие в себя затраты на запчасти и на труд ремонтного персонала).

Рассмотрим некоторую отрасль — реципиент технологий авиастроения. Обозначим характерные для данной отрасли параметры вышеописанной модели

суммарных удельных затрат на единицу продукции индексом i :

$$c_{\text{модель } i}^{\text{ОКР}}, c_{\text{ед } i}^{\text{произв}}, g_{\text{средн } i}^r, m_i, Q_i, T_i, \eta_i.$$

Изменения этих параметров благодаря трансферу в данную отрасль технологий авиастроения обозначим символом Δ . Даже если отдельные составляющие затрат при переносе в данную отрасль технологий авиастроения возрастут, общая сумма должна сократиться, т. е. должно выполняться следующее неравенство:

$$\Delta c_i = \Delta \left(\frac{c_{\text{модель } i}^{\text{ОКР}}}{Q_i T_i \eta_i} \right) + \Delta \left(\frac{c_{\text{ед } i}^{\text{произв}}}{T_i \eta_i} \right) + \sum_{r=1}^s \Delta g_{\text{средн } i}^r p^r < 0.$$

В противном случае, трансфер технологий авиастроения в данную отрасль заведомо нецелесообразен. Это неравенство и является, в рамках предлагаемой здесь модели, критерием экономической эффективности трансфера технологий авиастроения в i -ю отрасль. В принципе, благодаря применению авиационных технологий в соответствующих дробях могут меняться не только числители (т. е. стоимости разработки и производства изделий), но и параметры, входящие в знаменатели. Например, может возрасти долговечность изделий: $\Delta T_i > 0$, интенсивность их эксплуатации: $\Delta \eta_i > 0$, а благодаря снижению суммарных затрат, в конечном счете, может возрасти спрос на них и серийность выпуска: $\Delta Q_i > 0$. Все это может дополнительно повышать эффективность трансфера технологий, даже если стоимости исследований, разработки, производства изделий возрастут. В то же время, дороговизна авиационных технологий, как правило, ослабляет эффект от их применения в других отраслях, даже если они приносят значительную экономию, например, текущих эксплуатационных затрат.

Рассмотрим простой иллюстративный пример. Пусть в данной отрасли удельные затраты в эксплуатации изначально составляли 50% суммарных удельных затрат на единицу продукции, т. е.

$$c_{\text{удельн } i}^{\text{экспл}} = 0,5 c_i$$

(для упрощения примера затраты на разработку изделия не будем рассматривать, т. е. остальные 50% суммарных удельных затрат составляли удельные затраты на производство:

$$\frac{c_{\text{ед } i}^{\text{произв}}}{T_i \eta_i} = 0,5 c_i).$$

В свою очередь, удельные эксплуатационные затраты изначально на 70% складывались из затрат на топливо, горюче-смазочные материалы (ГСМ), а на 30% — из затрат на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР):

$$c_{\text{удельн } i}^{\text{ГСМ}} = 0,7 c_{\text{удельн } i}^{\text{экспл}}; c_{\text{удельн } i}^{\text{ТОиР}} = 0,3 c_{\text{удельн } i}^{\text{экспл}}.$$

Предположим, что благодаря трансферу авиационных технологий удалось значительно, на 30%, снизить расход топлива:

$$\Delta c_{\text{удельн } i}^{\text{ГСМ}} = -0,3 c_{\text{удельн } i}^{\text{ГСМ}},$$

однако это привело к удорожанию производства изделий и их ремонта на 10%:

$$\Delta c_{\text{ед } i}^{\text{произв}} = 0,1 c_{\text{ед } i}^{\text{произв}}; \Delta c_{\text{удельн } i}^{\text{ТОиР}} = 0,1 c_{\text{удельн } i}^{\text{ТОиР}}.$$

На первый взгляд, эти приросты невелики, а сокращение расхода топлива значимо, тем более что «удельный вес» топливных затрат в общей сумме затрат на единицу продукции очень высок. Однако итоговый эффект трансфера таких технологий оказывается небольшим:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta c_i}{c_i} &= \frac{\Delta \left(\frac{c_{\text{ед } i}^{\text{произв}}}{T_i \eta_i} \right) + \Delta c_{\text{удельн } i}^{\text{ТОиР}} + \Delta c_{\text{удельн } i}^{\text{ГСМ}}}{c_i} = \\ &= \frac{1,1 \cdot 0,5 c_i + (0,7 \cdot 0,7 + 1,1 \cdot 0,3) \cdot 0,5 c_i}{c_i} = 0,96, \end{aligned}$$

т. е. суммарные удельные затраты сократились на 4% — что, впрочем, не так и мало по меркам многих отраслей, однако и не так много, как можно было ожидать, основываясь на значительной экономии ГСМ и большом удельном весе соответствующих затрат.

Остается рассмотреть поведение различных слагаемых приведенной в итоговой формуле суммы удельных затрат на единицу продукции при трансфере авиационных технологий в другие отрасли промышленности и экономики. При этом следует обращать особое внимание на изменение знаменателей дробей, содержащихся в правой части итоговой формулы для удельных затрат. Если в результате трансфера технологий авиастроения в прочие отрасли меняются средние (по совокупности отраслей, где применяются соответствующие технологии) значения соответствующих параметров, то слагаемые удельных затрат распределяются на большие или меньшие

- количества разрабатываемых моделей,
- объемы выпуска изделий,
- «объемы» их применения, т. е. объемы конечной продукции, произведенной с их помощью.

Эти изменения и позволят оценить эффективность (либо, наоборот, выявить нецелесообразность) трансфера тех или иных технологий авиастроения в другие отрасли машиностроения.

Анализ динамики развития и технико-экономических особенностей технологий гражданского авиастроения

Но сначала целесообразно провести экономический анализ особенностей технологий авиастроения. Они развивались исторически и развиваются сейчас именно в соответствии со специфическими целями развития авиастроения и авиации, которые могут сильно отличаться от целей развития иных отраслей. Как правило, структура СЖЦ, т. е. соотношение различных составляющих рассмотренных выше удельных затрат, определяет и приоритетные направления повышения экономической эффективности продукции отрасли. Если генеральная задача состоит в удешевлении продукции при заданном уровне ее качества, тогда в первую очередь целесообразно стремиться к снижению наиболее весомых компонент удельных затрат. В силу отмеченной выше особенности структуры СЖЦ авиационной техники, т. е. преобладания затрат на этапе

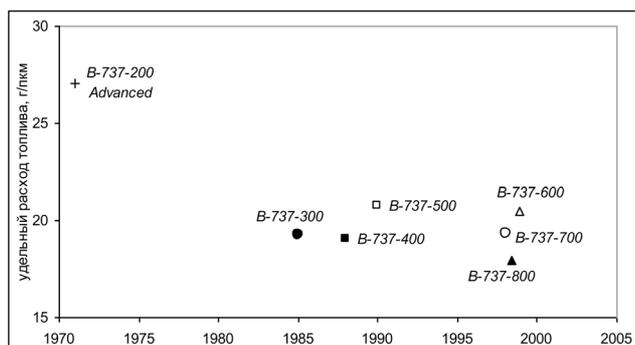


Рис. 1. Динамика изменения удельного расхода топлива самолетов семейства Boeing-737

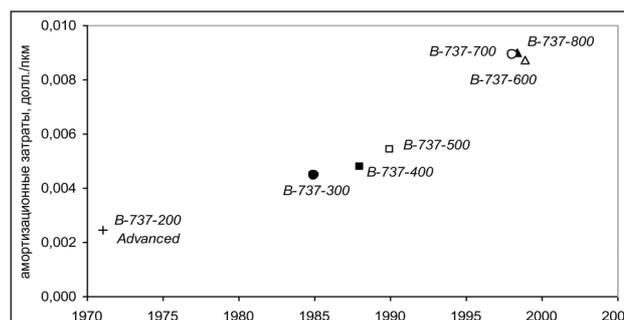


Рис. 2. Динамика изменения ставки амортизационных затрат самолетов семейства Boeing-737

эксплуатации, усилия ученых и инженеров на протяжении нескольких десятилетий научно-технологического развития гражданского авиастроения были направлены, главным образом, на сокращение удельных затрат, непосредственно связанных с процессом эксплуатации и потреблением ресурсов. Поэтому, в свою очередь, прежде всего усилия ученых и инженеров были нацелены на сокращение удельного расхода ГСМ. Однако необходимые для этого технические решения почти наверняка приводят к удорожанию изделий в производстве. Причем, хотя в определенный период резко возросли также долговечность изделий авиастроения (в основном, благодаря переходу к так называемой эксплуатации по техническому состоянию [17]) и интенсивность их эксплуатации, что привело к снижению отношения

$$\frac{c_{\text{ед}}^{\text{произв}}}{T\eta},$$

но в дальнейшем это слагаемое лишь возрастало, с ростом цены изделий (поскольку знаменатель уже не рос так быстро). Однако это оправдывалось в авиастроении сокращением текущих затрат на ГСМ, тем более, что они дорожали, особенно бурно — на протяжении 2000-х гг. На рис. 1 и 2 представлены² значения удельного расхода топлива и амортизационных затрат (в расчете на пассажиро-километр) среднемагистральных пассажирских самолетов семейства Boeing-737 (США), разработанных на протяжении нескольких последних десятилетий. Несмотря на общее наименование, в это семейство входят, фактически, изделия трех поколений. Наиболее раннее поколение, введенное в эксплуатацию в начале 1970-х гг., представлено модификацией Boeing-737-200 Advanced. Следующее поколение, 737 Classic, представлено модификациями 737-300, 737-400 и 737-500, появилось на мировом рынке в середине — конце 1980-х гг. И, наконец, наиболее современное (из эксплуатируемых в настоящее время) поколение, 737 Next Generation, включающее в себя модификации 737-600, 737-700 и 737-800, предлагается заказчикам с конца³ 1990-х гг. Амортизационные затраты в данном случае характеризуют стоимость изделий авиационной техники, а их динамика косвенно

характеризует затраты на разработку и производство новых типов изделий. Видно, что удельный расход топлива снижается убывающим темпом, а темп роста соответствующей ставки амортизационных затрат, напротив, увеличивается, что свидетельствует о достижении пределов совершенствования современных авиационных технологий.

Также технологические инновации в авиастроении были направлены на снижение удельных затрат квалифицированного труда — прежде всего, экипажей, за счет сокращения их потребной численности благодаря автоматизации управления движением воздушных судов и работой их систем. На большинстве современных гражданских самолетов (включая наиболее крупные, такие как А-380, имеющий пассажироместность 550-800 человек) используется двухчленный экипаж, причем, командир и второй пилот взаимозаменяемы, имеют идентичные органы управления, теоретически способны в одиночку пилотировать самолет, и лишь дублируют друг друга по соображениям безопасности. Также, благодаря повышению надежности авиационной техники и совершенствованию технологий и организации ее технического обслуживания и ремонта (ТОиР), многократно снизилась удельная трудоемкость ТОиР в расчете на летный час. Ряд технологических инноваций позволил сократить также потребность в дорогостоящих услугах инфраструктуры, что экономически выражается в снижении сумм аэропортовых сборов, сборов за услуги управления воздушным движением и др.

Таким образом, наиболее передовые технологии авиастроения позволяют сокращать, в первую очередь, удельные эксплуатационные затраты, потребность в расходовании различных ресурсов — ГСМ, квалифицированного труда, услуг различных видов инфраструктуры — ценой повышения всех или части прочих слагаемых — стоимости НИР, ОКР, себестоимости производства изделий. Понимание этого качественного факта позволяет корректно предсказать наиболее эффективные направления трансфера технологий авиастроения в другие отрасли, а также достоверно указать те направления, в которых такой трансфер будет заведомо неэффективным.

² Графики построены на основании данных производителя в монографии [12].

³ В 2017 г. уже вышло на рынки новое, 4-е поколение данного семейства, Boeing-737 NEO.

Качественный анализ эффективности возможных направлений трансфера технологий авиастроения в прочие отрасли

Итак, технологии авиастроения изначально были направлены на экономию ресурсов в эксплуатации, достигаемой ценой

- удорожания производства изделий;
- удорожания исследований и разработок.

Рассмотрим целесообразность трансфера таких технологий в прочие отрасли машиностроения. Если снижение текущих эксплуатационных затрат и ресурсоемкости эксплуатации в авиастроении достигнуто, преимущественно, за счет повышения стоимости производства изделий, сложно рассчитывать на успешный трансфер соответствующих технологий в какие-либо иные отрасли транспортного и энергетического машиностроения. Этот вывод вытекает из итоговой формулы для удельных суммарных затрат. Видно, что в ней соответствующая величина, $c_{ед}^{произв}$, не распределяется на количество выпускаемых изделий — она распределяется лишь на суммарный «объем» их эксплуатации (соответствующее слагаемое имеет вид

$$\frac{c_{ед}^{произв}}{T\eta}).$$

Возможен ли (и при каких условиях) его значительный прирост при трансфере технологий авиастроения в прочие отрасли транспортного и энергетического машиностроения?

Как видно из полученной формулы, удельные затраты, связанные с производством, будут ниже, если растет средняя долговечность изделий и средняя интенсивность их эксплуатации. Так, например, трансфер производственных технологий и материалов (даже весьма дорогостоящих) из ракетно-космической промышленности, для которой характерен разовый характер использования многих изделий, в отрасли с длительной и интенсивной эксплуатацией изделий — такие как авиастроение — многократно повышает общий «объем применения» этих технологий — в данном случае, объем продукции (например, транспортных услуг), производимой с помощью изделий данной совокупности отраслей, и, соответственно, снижает удельные затраты, связанные с производством изделий. В то же время, само авиастроение на фоне прочих отраслей транспортного машиностроения относится к лидерам по интенсивности эксплуатации. Характерный годовой налет среднемагистральных воздушных судов в успешных авиакомпаниях достигает 3000-4000 л. ч./г, а дальнемагистральных — до 5000-5500 л. ч./г, что уже близко к теоретическому пределу, т. е. годовому календарному фонду времени⁴. Характерная длительность коммерческой эксплуатации гражданских воздушных судов (20-30 и более лет) также делает авиастроение отраслью — рекор-

дсменом по «объему применения» изделий, наряду с судостроением. При этом, с учетом существенно более высокой скорости движения воздушных судов, они становятся безусловными лидерами по объему транспортной работы за жизненный цикл среди всех видов транспортных средств. Поэтому не следует рассчитывать на значительный прирост средней по совокупности отраслей величины произведения ($T\eta$) при трансфере технологий авиастроения в прочие отрасли транспортного машиностроения. Соответственно, распределение стоимости производства изделия на больший объем «единиц эксплуатации» маловероятно при трансфере технологий авиастроения в любые возможные отрасли. Поэтому, даже если соответствующая технология оказалась экономически эффективной в авиастроении, поскольку позволила сэкономить дорогостоящие ресурсы в эксплуатации ценой удорожания производства самих изделий — весьма возможно, что она не будет эффективной в прочих отраслях, для которых снижение ресурсоемкости эксплуатации не столь критично.

Характерный пример — легкие и прочные конструкционные материалы (полимерно-композитные материалы, ПКМ, а также легкие металлы и сплавы, включая титан, магниевые сплавы и т. п.), используемые в авиастроении для повышения весового совершенства авиационной техники. Они являются весьма дорогостоящими именно в расчете на одно изделие, повышая стоимость его производства. Но если в авиастроении повышение весового совершенства конструкции позволяет значимо сократить расход ГСМ, то в автомобилестроении, в железнодорожной технике и т. п. наземных видах транспорта (тем более, на водном транспорте), его роль даже в снижении удельного расхода энергии на движение уже невелика (при этом, в свою очередь, далеко не во всех отраслях топливно-энергетические затраты столь же критичны, как в авиации). Здесь уже играют роль физические факторы, определяющие вклад весового совершенства в снижение эксплуатационных затрат. В отличие от летательных аппаратов, автомобили и поезда движутся, опираясь на земную поверхность (а суда — на воду), опора воспринимает их вес. Сопротивление движению обусловлено, в основном, трением качения, а при высоких скоростях, порядка 100 км/ч и выше — главным образом, аэродинамическим сопротивлением воздуха (для судов также — гидродинамическим сопротивлением воды).

Таким образом, вряд ли будет эффективным трансфер в другие отрасли технологий авиастроения, которые позволяют экономить ресурсы в эксплуатации ценой удорожания производства изделий. Впрочем, себестоимость производства складывается, в основном, из двух слагаемых: материальных затрат и затрат на оплату труда производственных рабочих. И в некоторых случаях второе слагаемое может существенно

⁴ В энергетическом машиностроении встречается даже более интенсивный режим эксплуатации изделий — например, наземные газотурбинные установки (ГТУ) в энергетике и в трубопроводном транспорте нередко работают почти круглосуточно и круглогодично. Причем, в отличие от авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), которые все-таки останавливаются в перерыве между рейсами, т. е. непрерывно работают лишь до 10-15, реже 17-20 ч, наземные ГТУ нередко непрерывно работают в течение многих недель и даже месяцев. Это диктует специфические требования к их конструкции и используемым материалам, которые нехарактерны для авиации.

сократиться при трансфере авиационных технологий в некоторые отрасли — а конкретнее, в те, для которых характерна гораздо большая серийность выпуска изделий, чем для авиастроения. При этом возможно проявление эффекта обучения в производстве, см. [18, 21]. Он приводит к сокращению удельной трудоемкости, и, следовательно, затрат на оплату труда в расчете на единицу продукции при увеличении накопленного объема выпуска (иначе говоря, накопленного опыта производства)⁵. Также при трансфере авиационных технологий в прочие отрасли возможны качественные изменения характера производства — от штучного или мелкосерийного, характерного для авиастроения (в силу чего в нем преобладает ручной труд, низкая степень механизации и автоматизации производства) к крупносерийному или массовому, характерному, например, для автомобилестроения. В таких отраслях уже становятся рентабельными глубокая механизация, автоматизация, роботизация производства. Это также может привести к значительному удешевлению производства изделий. Поэтому следует оценивать возможные изменения себестоимости производства изделий, созданных на базе авиационных технологий, при повышении степени механизации и автоматизации производственных процессов. В ряде случаев при этом действительно открываются резервы значительного удешевления изделий. Но это возможно, во-первых, при трансфере технологий в отрасли с гораздо большей серийностью выпуска изделий — например, в автомобилестроение. Во-вторых, описанный здесь эффект будет значим лишь в том случае, если дороговизна производства изделий авиастроения была обусловлена, главным образом, высокой трудоемкостью, а не дороговизной материалов.

Как правило, достижение высоких показателей экономичности, безопасности, экологичности эксплуатации изделий авиационной техники требует применения сложных и дорогостоящих методов и средств проектирования изделий. И если это оправдано в авиастроении, где стоимость ОКР распределяется на сравнительно небольшой объем выпуска (порядка нескольких сотен или тысяч), то в отраслях с серийностью, большей на порядок или несколько порядков, таких как автомобилестроение, применение аналогичных технологий проектирования почти наверняка окажется экономически целесообразным. Подчеркнем, что в формуле суммарных удельных затрат стоимость разработки модели распределялась, в том числе и на объем ее выпуска

$$\frac{C_{\text{модель}}^{\text{ОКР}}}{QT\eta}$$

В связи с этим, почти заведомо эффективен трансфер технологий проектирования изделий авиастроения в прочие отрасли транспортного и энергетического машиностроения, что и имеет место в реальности. Авиастроительные компании выступали пионерами в применении программных средств автоматизированного проектирования и технологической подготовки

производства, CAD/CAM. Далее практически те же программные пакеты, после соответствующей адаптации, применяются в автомобилестроении, железнодорожном, энергетическом машиностроении и т. п.

Но наиболее перспективен, исходя из полученной итоговой формулы, трансфер в прочие отрасли машиностроения тех авиационных технологий, которые сокращают стоимость и ресурсоемкость эксплуатации за счет повышения собственно затрат на НИР, без удорожания производства изделий. Прежде всего, может быть эффективным использование в прочих отраслях методов и средств повышения аэродинамического и весового совершенства изделий за счет передовых достижений аэродинамики, теории прочности, математических моделей и компьютерных программ для аэродинамических и прочностных расчетов. Отмеченный выше факт, что сопротивление движению скоростных наземных и водных транспортных средств, в основном, обусловлено аэродинамическими силами, подсказывает возможное перспективное направление трансфера технологий авиастроения в соответствующие отрасли машиностроения. Представляется выгодным (и уже активно реализуется на практике) использование отработанных в авиастроении методов снижения аэродинамического сопротивления, обтекаемых форм, а также методов и средств самих аэродинамических исследований — начиная с методов вычислительной аэродинамики, и заканчивая использованием «авиационных» аэродинамических труб для проведения исследований и испытаний автомобилей и поездов. И даже если повышение весового совершенства наземных транспортных средств не столь значимо, как для авиационной техники (что обосновано выше физическими соображениями), оно все равно может быть целесообразным, если достигается относительно недорого, в расчете на единицу продукции, путем. К таковым и относится использование развитых в интересах авиастроения методов прочностных расчетов (как правило, основанных на методе конечных элементов) — как статических, так и динамических, в автомобилестроении, железнодорожной технике и т.д. Причем, в этих отраслях методы, развитые в интересах авиастроения, нередко используются для решения специфических задач — например, методы и программные средства динамических прочностных расчетов используются для моделирования автомобильных аварий, проведения «виртуальных краш-тестов».

Аналогичный трансфер наблюдается в части технологий моделирования и оптимального проектирования тепловых двигателей и их рабочих процессов, на базе теорий, моделей и пакетов моделирования горения и теплообмена. Также передаются в другие отрасли машиностроения отработанные в авиации передовые системотехнические решения в области авионики, такие как ее модульная архитектура, алгоритмы управления и конструктивные решения в сфере систем управления — начиная от эргономики кабин, визуализации приборной информации (например, индикация на лобовом стекле), методов моделирования

⁵ В меньшей степени, но также возможно снижение удельных материальных затрат благодаря снижению непроизводительных потерь сырья и материалов.

и оптимизации человеко-машинного взаимодействия, и заканчивая новыми видами исполнительных механизмов (гидравлических, электромеханических и др.) в системах управления. Так, технологии, отработанные в гидравлических приводах авиационных систем управления, далее были применены в автоматизированной гидропневматической подвеске некоторых автомобилей («Ситроен» и др.), которая одновременно обеспечивает и высокую плавность хода, в том числе на плохой дороге, и высокую устойчивость и управляемость автомобиля на высоких скоростях, что достижимо лишь при адаптивности подвески, активном принципе действия ее упругих элементов. Они становятся более «мягкими» или «жесткими» в зависимости от того, что именно требуется в конкретных условиях, причем, это определяется быстродействующей интеллектуальной системой управления, также основанной на авиационных технологиях.

Особо важно подчеркнуть, что во всех этих примерах возможно практически «бесплатное» применение авиационных технологий в прочих отраслях, не требующее существенного удорожания производства каждого экземпляра изделий. Причина в том, что наиболее значительные затраты были понесены на сам поиск, отработку и интеграцию соответствующих идей и решений, но их «серийное» применение уже не требует высоких дополнительных затрат. Как правило, произвести — из тех же материалов — более обтекаемую конструкцию, или конструкцию, более сбалансированную с точки зрения напряжений в ее элементах (и в итоге более прочную) — не сложнее и не дороже, чем менее рациональную.

Наибольший эффект принесет распределение затрат на НИР на большие объемы выпуска изделий, т. е. при трансфере технологий в отрасли с высокой серийностью производства. В области транспортного машиностроения наиболее перспективен трансфер технологий, разработанных в интересах авиационной техники, где характерная серийность выпуска конкретных моделей самолетов и вертолетов редко превосходит сотни и достигает нескольких тысяч за жизненный цикл, в автомобилестроение, для которого характерна серийность порядка сотен тысяч и даже миллионов изделий.

Поскольку затраты на НИР, на создание единого комплекса технологий, распределяются также и на все отрасли-реципиенты, и на все модельные ряды этих отраслей (соответствующее слагаемое имеет вид

$$\frac{C_{\text{НИР}}}{nmQT\eta}),$$

наиболее эффективен трансфер таких технологий в интересах широкого круга отраслей, имеющих обширные модельные ряды изделий. Причем, нередко дополнительные затраты на НИР могут способствовать и снижению стоимости ОКР. Это характерно, прежде всего:

- для разработки новых, более адекватных реальности теорий в различных областях прикладной науки (аэродинамике, теории прочности материалов и конструкций, теории горения и теплообмена, теории систем управления и т. п.), позволяющих

сократить потребные объемы расчетов и испытаний при проектировании конкретных изделий;

- для разработки пакетов компьютерных расчетных программ, которые нередко изначально создавались как исследовательские, но, по мере накопления опыта их применения, по мере повышения достоверности расчетов и удобства интерфейса, переходили в разряд инженерных.

Выводы

Анализ особенностей структуры стоимости жизненного цикла изделий авиационной техники и направлений его технологического развития определяет преимущественные направления эффективного трансфера авиационных технологий в другие отрасли. Проведенный анализ показал следующее.

1. На протяжении большей части истории отрасли, технологическое развитие гражданского авиационного машиностроения было направлено, преимущественно:
 - на снижение эксплуатационных затрат ценой повышения затрат на всех прочих стадиях жизненного цикла (исследований и разработки, производства);
 - повышение безопасности и снижение вредного воздействия на окружающую среду.
 Эти тенденции определяют преимущества, которыми обладают авиационные технологии, а также структуру стоимости жизненного цикла изделий, в которых они применяются.
2. Маловероятно, что будет экономически эффективным трансфер в прочие отрасли тех технологий авиационной техники, которые обеспечивают экономию эксплуатационных затрат за счет удорожания производства изделий — прежде всего, применение в других отраслях легких и прочных, но дорогостоящих конструкционных материалов. Однако трансфер дорогостоящих в производстве технологий авиационной техники в другие области техники может стать эффективным, если их дороговизна обусловлена именно высокой трудоемкостью. Тогда, при трансфере в отрасли в большей серийностью, возможно многократное удешевление производства благодаря эффекту обучения по мере накопления опыта производства или автоматизации технологических процессов.
3. Наиболее эффективен трансфер в прочие отрасли промышленности разработанных в авиационной технике технологий проектирования и оптимизации конструкций изделий, методов и средств испытаний, аэродинамических форм и конструктивно-силовых схем, схемотехнических решений в области бортового оборудования, алгоритмов управления, и т. п. технологий, которые потребовали больших единовременных затрат на их разработку, но не потребуют значительного повышения стоимости производства изделий.

Список использованных источников

1. Э. Н. Абдурахимова, К. С. Колесникова, Н. П. Иващенко и др. Методы оценки эффективности трансфера технологий // Экономические науки. 2015. № 5. С. 29-33.

2. Авиастроение: летательные аппараты, двигатели, системы, технологии/Под ред. А. Г. Братухина. М.: Машиностроение, 2000. 536 с.
3. И. Г. Акперов, А. В. Петрашов. Трансфер инновационных технологий: готовность, препятствия, возможности//Инновации. 2008. № 5. С. 106-112.
4. А. Г. Братухин, Е. Н. Куличков, В. Д. Калачанов. Конверсия авиакосмического комплекса России. М.: Машиностроение, 1995. 272 с.
5. Г. С. Бюшгенс, Е. Л. Бедржицкий. ЦАГИ — центр авиационной науки. М.: Наука, 1993. 272 с.
6. В. А. Васильев, Ш. Н. Каландаришвили, В. А. Новиков, С. А. Одинокоев. Управление качеством и сертификация. М.: Интернет инжиниринг, 2002. 416 с.
7. П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк. Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. Учеб. пособие. М.: Дело, 2008. 1104 с.
8. О. Г. Голиченко, А. А. Малкова. Производство и потребление новых фундаментальных знаний: взаимодействие отраслей наук//Инновации. 2013. № 5. С. 65-74.
9. В. Г. Дмитриев, Г. С. Бюшгенс. О работах ЦАГИ. 1970-2000 гг. и перспективы. Жуковский: ЦАГИ, 2001. 112 с.
10. Инновационный менеджмент в России: вопросы стратегического управления и научно-технологической безопасности/Рук. авт. колл.: В. Л. Макаров, А. Е. Варшавский. М.: Наука, 2004. 880 с.
11. В. Капитан, Л. Борисова. Инновационное развитие России и роль трансфера технологий в этом процессе//Вестник института экономики Российской академии наук. 2012. № 3. С. 176.
12. В. В. Ключков. Управление инновационным развитием гражданского авиастроения. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. 280 с.
13. Н. И. Комков, Н. П. Иващенко. Институциональные проблемы освоения инноваций//Проблемы прогнозирования. 2009. № 5.
14. Ю. М. Максимов, С. Н. Митяков, О. И. Митякова. Инновационное развитие экономической системы: оценка эффективности трансфера технологий//Инновации. 2006. № 7. С. 84-86.
15. Е. М. Рогова. Формирование и реализация механизмов технологического трансфера. СПб.: СПбГУЭФ, 2005. 192 с.
16. А. Н. Шмелева, Р. М. Нижегородцев, Н. Б. Костерев. Проблема трансфера авиационных технологий в другие отрасли промышленности: стимулы, барьеры, институты//РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2016. № 4. С. 132-141.
17. Энциклопедия «Авиация». М.: Большая российская энциклопедия. 1994. 736 с.
18. A. Alchian. Reliability of Progress Curves in Airframe Production//Econometrica, vol. 31, № 4, 1963. P. 679-694.
19. M. D. M. Oliveira, A. A. C. Teixeira. The determinants of technology transfer efficiency and the role of innovation policies: a survey//Universidade do Porto, Faculdade de Economia do Porto, FEP Working Papers, No. 375. 40 p.
20. K. Ramanathan. An Overview of Technology Transfer and Technology Transfer Models//Technology Transfer and Small & Medium Enterprises in Developing Countries/Eds. K. Ramanathan, K. Jacobs, M. Bandyopadhyay. Daya Publishing House, 2011. P. 3-37.
21. T. P. Wright. Factors Affecting the Cost of Airplanes//Journal of Aeronautical Sciences, vol. 3, February 1936. P. 122-128.

Methods of forecasting economic efficiency of aviation technologies inter-industry transfer

V. V. Klochov, doctor of economic science, PhD (engineering), chief of department, Institute n. a. N. E. Zhukovsky/ leading research fellow, Institute of control science, RAS.

E. V. Voytenkov, junior research fellow, Central aerohydrodynamic institute/ senior project manager, ENGO engineering, LLC.

The method of forecasting the economic efficiency of aircraft technologies transfer to other industries, primarily transport and power engineering, is proposed. As an indicator of the recipient industry products effectiveness, the total cost per unit of goods produced with the help of these products is taken, for example, per ton-kilometer, kilowatt — hour, etc. The costs are divided by the life cycle stages (research and development, production, operation). It is proposed to consider the reduction of total unit costs due to the use of these technologies as a criterion of efficiency of aircraft-building technologies transfer in this industry. It is shown that the transfer efficiency of aviation technology, very advanced but expensive, depends on the breadth of the model range of the recipient industry, the serial production of products, the intensity of their operation. We revealed the groups of aircraft technologies that have significant potential for transfer to other industries, and groups of technologies, the high cost of which is unlikely to pay off by improving the various characteristics of products.

Keywords: transfer, aviation technology, efficiency, forecasting, economic-mathematical model.