

УДК 62-78
ББК 35.9 + 65.050

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СТИМУЛОВ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Варюхина Е. В.¹

(Московский физико-технический институт, Москва)

Клочков В. В.²

*(Учреждение Российской академии наук
Институт проблем управления РАН, Москва)*

Проведен экономико-математический анализ эффективности естественных рыночных механизмов, стимулирующих повышение безопасности авиационной техники. Показано, что авиационная промышленность, как отрасль, более уязвимая к спаду пассажирооборота после авиационных происшествий, заинтересована в повышении безопасности полетов сильнее, чем авиакомпания.

Ключевые слова: безопасность полетов, авиaperевозки, авиатехника, экономическая заинтересованность, стимулы, экономико-математическое моделирование.

1. Введение

На примере гражданской авиации рассматривается следующий вопрос: насколько эффективно естественные рыночные силы стимулируют повышение безопасности техники? После авиационных происшествий (катастроф), помимо непосредственных потерь (таких как потеря имущества, выплаты пострадавшим или их родственникам, судебные издержки и т.п.), авиакомпании также несут потери, связанные с сокращением спроса

¹ Екатерина Витальевна Варюхина, аспирант (eyebrow@yandex.ru).

² Владислав Валерьевич Клочков, доктор экономических наук, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник (vlad_klochkov@mail.ru).

на авиаперевозки. Падает доверие потенциальных пассажиров к воздушному транспорту, что заставляет их отказываться от поездок либо выбирать иные виды транспорта. Причем если риск прямых потерь является страхуемым, то риск сокращения спроса – нет. Поэтому, как полагали экономисты либерального направления, угроза сокращения спроса и доходов, наряду с угрозой прямых потерь, заставляет авиакомпании обеспечивать высокий уровень безопасности полетов. Таким образом, на первый взгляд, в данной сфере действуют естественные, рыночные обратные связи между уровнем безопасности полетов и доходами авиакомпаний, которые автоматически будут заинтересованы в повышении уровня безопасности. Однако в пионерской работе [6] было показано (эконометрическими методами), что потери самих авиакомпаний вследствие сокращения спроса на авиаперевозки после авиационных происшествий, как ни парадоксально, достаточно слабы. Кроме того, сокращения доходов носят краткосрочный характер и на долгосрочных интервалах нивелируются. Рассматривались изменения капитализации авиакомпаний, т.е. фактически изменения курсов их акций, которые, в свою очередь, представляют собой рыночную оценку их дисконтированных будущих доходов, и неудивительно, что краткосрочные спады этих доходов сглаживаются. Указанное исследование было проведено в начале так называемого *дерегулирования авиаперевозок* в США. По его результатам (а также по результатам более поздних исследований, опирающихся на названную основополагающую работу в методологическом отношении, см. [7, 9]) было признано, что рыночные силы недостаточно эффективно обеспечивают заинтересованность авиаперевозчиков в повышении безопасности полетов, и в этом отношении необходим жесткий государственный контроль.

В данной работе, в отличие от описанных, рассматриваются экономические механизмы, стимулирующие именно повышение безопасности авиационной техники. На первый взгляд, это не очень актуально в сложившейся ситуации, поскольку, по данным многих исследований (см., например, [3]) подавляющая доля авиационных происшествий связана с человеческим фактором в эксплуатации. То есть даже если сократить до нуля вероятность катастрофических отказов техники, радикального по-

вышения безопасности полетов ожидать не приходится, и, на первый взгляд, возможности ее повышения со стороны авиастроителей практически исчерпаны. Безопасность полетов – комплексная категория, она определяется всеми элементами авиатранспортной системы: воздушными судами, инфраструктурой технического обслуживания и ремонта (ТОиР) авиатехники, экипажами и системой их подготовки, системой управления воздушным движением (УВД), аэродромной инфраструктурой и т.д. Далеко не все эти элементы подконтрольны авиационной промышленности. Однако нередко существуют возможности сократить вероятность тех или иных негативных проявлений человеческого фактора в эксплуатации еще на этапе разработки изделий. Например, многие операторские ошибки вызваны эргономическим несовершенством авиатехники, и хотя с формальной точки зрения разработчик и производитель не виновны в них (оператор нарушил руководство по летной эксплуатации), нередко он способен исключить или существенно снизить их вероятность. Также известны конструктивные и технологические решения, затрудняющие даже преднамеренное нарушение дисциплины в процессе летной эксплуатации авиатехники, ее технического обслуживания и ремонта.

Проверяется следующая гипотеза: авиационная промышленность заинтересована в повышении безопасности полетов гораздо больше, чем эксплуатирующие ее изделия авиакомпании. Причем она может быть заинтересована в повышении безопасности не только в своей зоне ответственности (т.е. в минимизации конструктивно-производственных недостатков), но и за ее пределами, т.е. в период эксплуатации, сводя к минимуму возможные ошибки или преднамеренные небезопасные действия эксплуатантов, неконтролируемое воздействие на воздушные суда природных факторов и т.д. Для проверки этой гипотезы необходимо провести математическое моделирование соответствующих экономических механизмов. Если она подтвердится, необходимо провести анализ экономической заинтересованности авиакомпаний в приобретении новой, более безопасной авиатехники.

2. Анализ экономической заинтересованности авиастроительных компаний в повышении безопасности полетов

Прежде всего необходимо оценить влияние уровня безопасности полетов на конъюнктуру рынка авиаперевозок. Поскольку такие оценки необходимо получать не только при исторически достигнутых показателях безопасности, но и при ожидаемых в перспективе, здесь неприменим эконометрический подход, использованный в работах [6, 7]. Предлагается упрощенная структурная экономико-математическая модель зависимости спроса на авиаперевозки от уровня риска авиационного происшествия. Как и в других оптимизационных моделях спроса на перевозки, здесь рассматривается выбор пассажиров, дифференцированных по доходным группам, между воздушным и наземным транспортом в дальнем сообщении. Но, в отличие от традиционных моделей подобного рода (см., например, [2]), учитывается фактор риска попадания в авиационное происшествие. Как правило, структурные оптимизационные модели спроса на перевозки весьма сложны и требуют значительного объема исходной информации. Если учитывать, что в течение года пассажир может совершать несколько дальних поездок на различные расстояния, необходимо знать зависимость частоты поездок от дальности для каждой доходной группы. В ряде работ учитывается также стохастический характер поведения потребителей, в том числе путем использования рандомизированной функции полезности (см., например, [4]). Именно такой подход использован и в работе [9], однако такие модели весьма сложны для аналитического исследования в общем виде. В работе [1] предлагается более простой подход к прогнозированию спроса на перевозки: считается, что на определенную долю дохода сверх прожиточного минимума пассажир совершает единственную поездку в течение года, выбирая для ее совершения тот вид транспорта, который обеспечивает ему меньшее значение полной стоимости пассажира-километра (далее сокращенно *пкм*). В ее составе учитываются как прямые денежные затраты (тариф), так и упущенная выгода (стоимость часа рабочего времени пассажира, зависящая от дохода индивида). Здесь предлагается модифи-

кация упрощенной модели, предложенной в работе [1]: в суммарную стоимость пассажира-километра добавлено слагаемое, отражающее ожидаемые потери в случае происшествия. Простота принятой модели поведения пассажира делает получаемую зависимость спроса на перевозки от риска происшествия наглядной и пригодной для аналитического исследования, в отличие от весьма сложной модели [9]. Ниже приведена спецификация описанной модели.

Пусть пассажир оценивает потери при происшествии в R денежных единиц:

$$(1) \quad R = j \cdot M ,$$

где M – его среднемесячный доход; j – коэффициент связи между оценкой потерь и месячным доходом.

Тогда, если субъективная оценка вероятности происшествия в расчете на один пассажиро-километр равна ψ , дополнительные ожидаемые потери из-за низкой безопасности полетов составят

$$(2) \quad \psi \cdot R = j \cdot \psi \cdot M .$$

Эта добавка учитывается в полной стоимости пкм:

$$(3) \quad C_{\text{пкм}} = p + \frac{z}{v} + \psi \cdot R ,$$

где z – стоимость часа времени пассажира; v – средняя скорость транспорта; p – стоимость пассажиро-километра по тарифу.

Всё население разбивается на $n_{\text{дох}}$ групп по доходам. Бюджет, выделяемый на поездки представителем i -й группы, составляет

$$(4) \quad B_i = 12(M_i - M^{\min})a ,$$

где коэффициент a отражает долю разности между годовым доходом и прожиточным минимумом, затрачиваемую на поездки; M^{\min} – прожиточный минимум; M_i – месячный доход представителя i -й доходной группы, $i = 1, \dots, n_{\text{дох}}$.

Следовательно, максимальная дальность поездки пассажира из i -й доходной группы на k -м виде транспорта будет составлять

$$(5) \quad L_i^k = \frac{12(M_i - M^{\min}) \cdot \alpha}{p^k + \left(\frac{b}{v^k} + j \cdot \psi^k\right) \cdot M_i},$$

где k – вид транспорта (железнодорожный или авиационный); $b = z/M_i$.

Предполагаем, что представитель i -й доходной группы предпочтет авиатранспорт железнодорожному, если $L_i^{\text{авиа}} \geq L_i^{\text{жд}}$, т.е., как и в работе [1], ставится задача максимизации подвижности пассажира. Суммируя дальности поездок для тех доходных групп, чьи представители выберут авиатранспорт, и умножая на численность населения в i -й доходной группе n_i , получим пассажирооборот W воздушного транспорта, измеряемый в пассажиро-километрах и определяющий, в том числе, потребность в продукции авиастроения:

$$(6) \quad W = \sum_{i=1}^{n_{\text{дох}}} \Delta_i n_i L_i^{\text{авиа}},$$

$$\text{где } \Delta_i = \begin{cases} 1, & L_i^{\text{авиа}} \geq L_i^{\text{жд}}, \\ 0, & L_i^{\text{авиа}} < L_i^{\text{жд}}. \end{cases}$$

Как видно из выражений (5) и (6), пассажирооборот сокращается с ростом субъективной оценки риска попадания в авиационное происшествие, причем как по причине сокращения подвижности отдельного пассажира, так и по причине отказа представителей отдельных доходных групп (в порядке возрастания дохода) от услуг воздушного транспорта.

Для оценки потерь авиастроительных предприятий вследствие повышения оценки вероятности происшествия, необходима модель совокупного спроса на авиатехнику в зависимости от пассажирооборота гражданской авиации. В данной работе такая модель строится при следующих допущениях:

- авиастроение рассматривается как единое целое, конкуренция между отдельными предприятиями (в реальности чрезвычайная жесткая) не учитывается;
- динамика спроса на авиаперевозки и уровня мощностей авиационной промышленности задается экзогенным образом;
- все воздушные суда – однотипные;

- условия эксплуатации парка однородны;
- распределение воздушных судов в парке по остатку ресурса – равномерное.

Следует подчеркнуть, что говорить о спросе на авиатехнику в строгом смысле этого термина, т.е. о платежеспособной потребности, было бы правомерно лишь при условии анализа платежеспособности авиакомпаний после тех или иных изменений пассажиропотока. В данной работе такой анализ не проводится, поэтому в дальнейшем прогнозируется, строго говоря, лишь потребность авиакомпаний в воздушных судах для выполнения ожидаемых объемов транспортной работы.

Введем следующие условные обозначения:

$W(t)$ – пассажирооборот в году t , пкм/год;

$N(t)$ – списочная численность парка гражданской авиации;

m – пассажировместимость одного воздушного судна, мест;

v – средняя рейсовая скорость воздушного судна, км/ч;

h – среднегодовой налет на одно воздушное судно, летных часов в год;

k – коэффициент заполнения кресел.

Тогда число воздушных судов, необходимое для удовлетворения спроса на перевозки в году t , может быть оценено по следующей формуле:

$$(7) \quad N_{\text{потреб}}(t) = \frac{W(t)}{v \cdot \eta \cdot k \cdot m}.$$

Если $N_{\text{потреб}} > N(t)$, то в году t имеет место дефицит провозных мощностей. Если же, напротив, $N_{\text{потреб}} < N(t)$, то существующие провозные мощности избыточны. Поскольку существенное снижение коэффициента заполнения кресел и налета на воздушное судно приводит к убыткам авиакомпаний, они стремятся эксплуатировать авиатехнику максимально интенсивно. В связи с этим при избытке провозных мощностей авиакомпании, как правило, выводят из эксплуатации часть принадлежащих им воздушных судов. Следовательно, в году t эксплуатироваться будет лишь часть парка, численность которой $N_3(t)$ можно определить в общем случае следующим образом:

$$(8) \quad N_3(t) = \min\{N_{\text{потреб}}(t), N(t)\}.$$

Пусть T – назначенный ресурс изделия, выраженный в летних часах. Тогда эксплуатируемые изделия будут в среднем выработать за год долю ресурса, равную h/T . Следовательно, количество изделий, выработавших в году t свой ресурс и подлежащих списанию, может быть приближенно представлено в следующем виде (при равномерном распределении парка по возрасту):

$$(9) \quad q_{\text{спис}}(t) = \frac{\eta}{T} N_{\text{э}}(t).$$

Если авиакомпании не будут приобретать новых воздушных судов, численность их парка к следующему году сократится до $N(t) - q_{\text{спис}}(t)$. Необходимо оценить, достаточно ли этих провозных мощностей для удовлетворения ожидаемого спроса на перевозки. Обозначим $W_e(t+1)$ ожидаемый авиакомпаниями в году t уровень спроса на авиаперевозки в будущем году $t+1$. При неизменных значениях среднегодового налета h , рейсовой скорости n , пассажироместности m и коэффициента заполнения кресел k , потребная численность парка пропорциональна пассажирообороту. Тогда в будущем году $t+1$ потребуются следующее количество воздушных судов:

$$(10) \quad N(t+1) = \frac{W(t+1)}{\eta \cdot v \cdot k \cdot m} = \frac{W(t+1)}{W(t)} N_{\text{потреб}}(t).$$

Если это количество не превосходит численность парка, оставшегося к началу года $t+1$, т.е., $N_{\text{потреб}}(t) \leq N(t) - q_{\text{спис}}(t)$, то приобретения новых воздушных судов не требуется. Иначе для поддержания баланса провозных мощностей авиакомпаниям необходимо приобрести по меньшей мере $N_{\text{потреб}}(t+1) - N(t) + q_{\text{спис}}(t)$ воздушных судов. Таким образом, выражение для спроса на воздушные суда примет окончательный вид:

$$(11) \quad q_{\text{необх}}(t) = \max \left\{ 0; \frac{W_e(t+1)}{v \cdot \eta \cdot k \cdot m} + \frac{\eta}{T} N_{\text{э}}(t) - N(t) \right\}.$$

Если изначально не было ни дефицита, ни избытка провозных мощностей, тогда $N(t) = W(t)/(n \cdot h \cdot k \cdot m)$, $N_{\text{э}}(t) = N(t)$, и выражение упрощается:

$$(12) q_{\text{необх}}(t) = \max \left\{ 0; \left(\frac{W_e(t+1)}{W(t)} - 1 + \frac{h}{T} \right) \times N(t) \right\}.$$

Считаем, что мощности авиастроения достаточны для удовлетворения спроса на новые ВС, т.е. поставки ВС равны заказам.

Представленные выше уравнения (7)–(12) представляют собой упрощенную модель *баланса провозных мощностей* (далее БПМ) гражданской авиации, широко применяемую для прогнозирования совокупного спроса на авиатехнику, см. [1].

В расчете по описанной модели (1)–(12) использовались следующие данные, близкие к реальным для России: коэффициент оценки потерь при происшествии по отношению к месячному доходу $j = 1000$; коэффициент связи между доходом и стоимостью часа $b = 1/200$ (считаем, что в месяце 25 рабочих дней, в рабочем дне – 8 рабочих часов). Распределение населения по величине среднедушевых денежных доходов, основанное на официальных данных Росстата за 2009 г. [12], представлено на рис. 1.

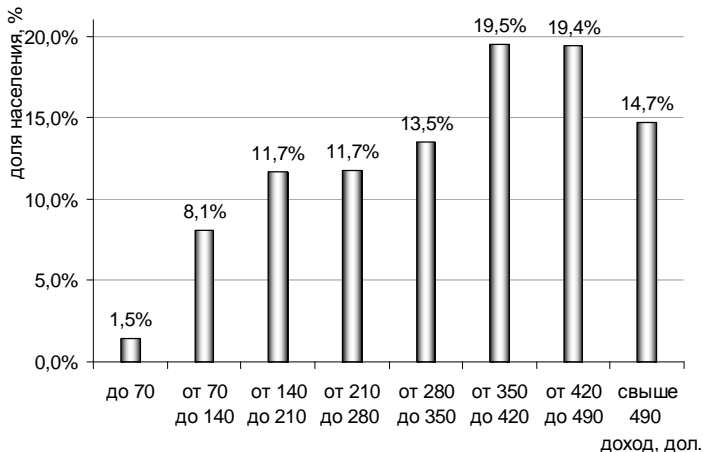


Рис. 1. Распределение населения по величине среднедушевых денежных доходов (по данным Росстата)

Согласно тем же данным, численность населения в данном году приблизительно принята равной 143 млн. чел., а прожиточ-

ный минимум – 5000 руб./месяц. Доля расходов на дальние поездки сверх прожиточного минимума $a = 5\%$. Рейсовая скорость самолета принята равной $n^{\text{авиа}} = 800$ км/ч; скорость железнодорожного транспорта $n^{\text{жд}} = 50$ км/ч, стоимость пассажиро-километра на авиатранспорте и железнодорожном транспорте соответственно $p^{\text{авиа}} = 0,12$ долл/пкм и $p^{\text{жд}} = 0,07$ долл/пкм. Значения авиатарифа были получены на основе статистической обработки данных [14] как отношение стоимости билета к дальности полета для разных направлений и авиакомпаний; рассматривался только эконом-класс с тарифом, не предусматривающем перенос даты или возврат билета. Были рассмотрены дальности полета от 1200 до 3500 км, средняя стоимость пассажиро-километра составила от 14 до 9 центов соответственно. Значения железнодорожного тарифа были получены на основе статистической обработки данных [15] как отношение стоимости билета к дальности поездки для разных направлений. Были рассмотрены дальности от 1200 до 3500 км, средняя стоимость пассажиро-километра составила от 9 до 5 центов соответственно. Оценка вероятности происшествия на самолете принята равной $y^{\text{авиа}} = 2 \cdot 10^{-8}$ пкм⁻¹, на железнодорожном транспорте $y^{\text{жд}} = 2 \cdot 10^{-9}$ пкм⁻¹. Пассажировместимость и среднегодовой налет самолета составляют, соответственно, $m = 150$ и $h = 3000$ л.ч., что соответствует типичным значениям для среднемагистрального самолета. Ожидания авиакомпаний относительно пассажирооборота считаются статическими, т.е. $W_e(t + 1) = W(t)$, и, в соответствии с (10), $N_{\text{потреб}}(t + 1) = N_{\text{потреб}}(t)$. Таким образом, предполагается, что авиакомпании, формируя заказы на новую авиатехнику, будут лишь стремиться восполнить текущий дефицит провозных мощностей.

На рис. 2. представлены полученные в данном примере относительные изменения спроса на авиаперевозки и на новые самолеты в зависимости от относительного изменения вероятности авиационного происшествия.

Видно, что изменение оценки вероятности происшествия оказывает сравнительно небольшое влияние на рынок авиаперевозок – пассажирооборот гражданской авиации падает всего лишь на 22% от первоначального уровня при увеличении оцен-

ки вероятности происшествия в 2,6 раза. Спрос же на самолеты падает на 100%, т.е. до нуля, уже при увеличении оценки вероятности происшествия в 1,5 раза. Скачки на данном графике связаны с тем, что приведенное на рис. 1 распределение населения по величине среднедушевых доходов дискретно.

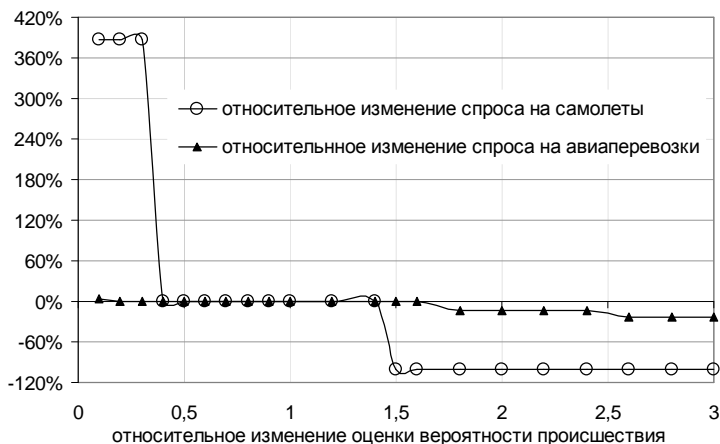


Рис. 2. Относительное изменение спроса авиаперевозки и потребности в воздушных судах в зависимости от относительного изменения оценки вероятности происшествия

Подчеркнем, что ожидаемые потери при попадании в авиационное происшествие входят в суммарную стоимость пассажиро-километра линейным образом. То есть пассажир считается нейтральным по отношению к риску. На самом деле это не так – вероятнее всего, он не расположен к риску, поэтому приведенные выше оценки спроса на авиаперевозки следует рассматривать как завышенные, оптимистические. Поэтому при снижении безопасности полетов спад спроса на авиаперевозки, а следовательно, и на самолеты будет более глубоким. По данным Национального совета США по безопасности на транспорте, *National Transportation Safety Board (NTSB)* [13], с 2000 по 2001 г. (т.е. в период, когда в гражданской авиации США произошли трагические события 9 сентября 2001 г.) годовое количество авиакатастроф в США выросло с 10 до 12, т.е. на 20%, что вы-

звало спад пассажирооборота за год, последовавший за данными событиями, на 9% относительно аналогичного периода до этих событий, см. [11]. Заметим, что согласно используемой здесь модели, при изменении оценки вероятности происшествия в 1,2 раза пассажирооборот вообще практически не должен измениться, в силу дискретности распределения населения по доходам. В то же время, в полном согласии с описанной моделью БПМ, хотя мировой пассажирооборот упал всего лишь на 3%, спрос на новые воздушные суда сократился гораздо сильнее – на 52%, см. рис. 3 (по официальным данным ведущих производителей магистральных пассажирских самолетов, обобщенным в [1]).

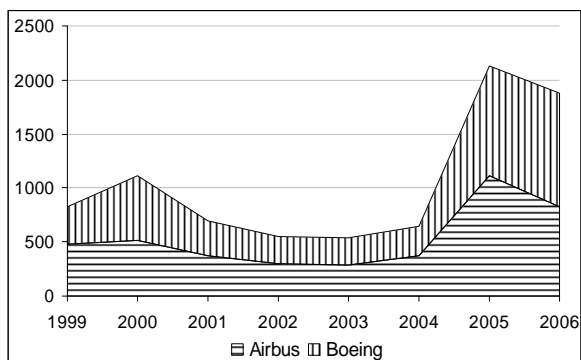


Рис. 3. Относительное изменение количества заказов на магистральные пассажирские самолеты в окрестности 2001 г.

Это подтверждает предположение о том, что в реальности спрос на авиаперевозки и новую авиатехнику более чувствителен к увеличению оценки вероятности авиационного происшествия, чем предсказывает предлагаемая здесь модель. Как показывает ее анализ и пример расчета, на авиастроителях увеличение оценки вероятности авиационного происшествия, как и предполагалось, отразится гораздо более глубоким спадом, чем на авиакомпаниях. При этом для авиационной промышленности спад выпуска чреват деградацией кадрового потенциала. В высокотехнологичных отраслях действует эффект обучения, который состоит в сокращении удельных трудозатрат с ростом накопленного опыта – по статистике [5, 10], удвоение выпуска

гражданских самолетов приводит к снижению удельных затрат на 15–20%. Однако это справедливо лишь при сохранении ритмичного выпуска изделий. В периоды вынужденного простоя действует обратный эффект – *забывания*. Согласно результатам статистических исследований, приведенным в [5], за год простоя самолетостроительного производства теряется около 40% накопленного опыта. Следовательно, авиастроители, как и предполагалось, гораздо больше, чем авиакомпании, заинтересованы в увеличении безопасности полетов.

3. Анализ заинтересованности авиакомпаний в ускоренной замене авиатехники на более безопасную

Однако даже если производители будут заинтересованы в разработке и освоении производства более безопасной авиатехники, необходимо оценить, насколько авиакомпании заинтересованы в ее приобретении, если у них в достаточном количестве имеется авиатехника предыдущего поколения, обладающая остатком ресурса и пригодная к эксплуатации. В работе [1] сформулированы условия, при которых становится целесообразным с экономической точки зрения досрочное списание современной авиатехники и ее замена на новую (более экономичную). Это имеет место, когда средняя ставка амортизации нового типа самолетов в расчете на летный час, определяемая как отношение цены самолета нового типа к его назначенному ресурсу, меньше, чем разность текущих эксплуатационных расходов (на авиатопливо, техобслуживание и ремонт и т.п.) старого и нового изделий. Однако в рассматриваемом случае это условие может не выполняться, хотя новые типы авиатехники, как правило, и безопаснее, и экономичнее старых. В то же время, при повышении безопасности полетов авиакомпании могут рассчитывать на повышение спроса на перевозки и выручки. Таким образом, чтобы оценить их заинтересованность в ускоренном обновлении парка авиатехники, необходимо рассмотреть не изменение удельных затрат на летный час или пассажиро-километр, а изменение совокупной прибыли авиакомпаний после замены старой техники на более безопасную.

Изменение прибыли авиакомпаний страны $\Delta\Pi$ выражается следующим образом:

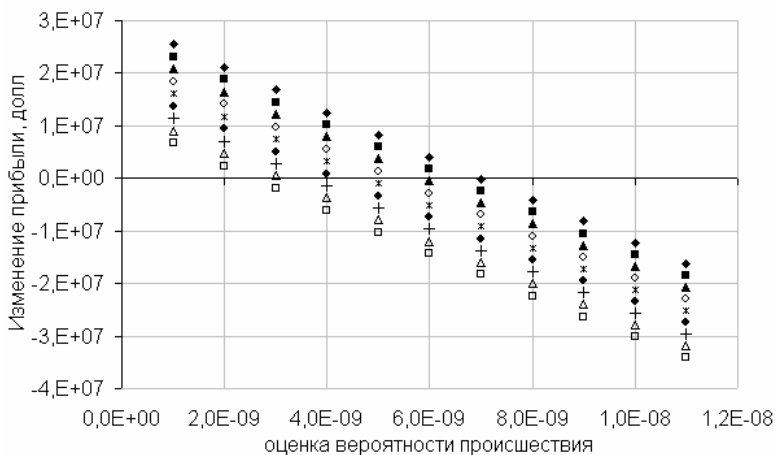
$$(13) \quad \Delta\Pi = \Pi^{\text{нов}} - \Pi^{\text{стар}} = W^{\text{нов}} (p^{\text{авиа}} - a^{\text{нов}} - p_{\text{ГСМ}} g^{\text{нов}} - c_{\text{ТОиР}}^{\text{нов}}) - \\ - W^{\text{стар}} (p^{\text{авиа}} - p_{\text{ГСМ}} g^{\text{стар}} - c_{\text{ТОиР}}^{\text{стар}}),$$

где $C_{\text{ТОиР}}^{\text{стар}}$ и $C_{\text{ТОиР}}^{\text{нов}}$ – стоимость технического обслуживания и ремонта (ТОиР) воздушных судов соответственно старого и нового типа; $W^{\text{стар}}$ и $W^{\text{нов}}$ – соответственно пассажирооборот до замены старой техники и после замены авиапарка на новые воздушные суда; $g^{\text{стар}}$ и $g^{\text{нов}}$ – удельный расход топлива, в расчете на пассажиро-километр, воздушных судов соответственно старого и нового типа; $p_{\text{ГСМ}}$ – цена авиатоплива (горюче-смазочных материалов, ГСМ); $p^{\text{авиа}}$ – тариф, в расчете на пассажиро-километр (здесь он считается постоянным, т.е. оптимизация ценовой политики авиакомпаний не рассматривается); $a^{\text{нов}}$ – средняя ставка амортизации в расчете на пассажиро-километр для нового типа самолетов (она может быть оценена как отношение стоимости самолета к его суммарному объему транспортной работы за весь расчетный срок службы).

В расчете модели использовались следующие значения параметров: удельный расход топлива $g^{\text{стар}} = 20$ г/пкм, цена ГСМ $p_{\text{ГСМ}} = 1000$ долл./тонн, амортизация нового самолета $a^{\text{нов}} = 0,01$ долл./пкм (оценка приведена в работе [1]), стоимость ТОиР $C_{\text{ТОиР}}^{\text{нов}} = C_{\text{ТОиР}}^{\text{стар}} = 0,01$ долл./пкм.

Для простоты не учитываются затраты на переобучение экипажей на новый тип воздушных судов, на получение нового сертификата эксплуатанта и т.п., поскольку они по порядку величины ниже статей расходов, перечисленных выше.

На рис. 4 изображены значения изменения прибыли авиакомпаний гражданской авиации России (пассажирооборот рассчитан на основе вышеописанной структурной модели). Проведены параметрические расчеты для различных уровней удельного расхода топлива нового типа авиатехники.



◆ $g^{ноб} = 12,0$ ■ $g^{ноб} = 13,0$ ▲ $g^{ноб} = 14,0$ ◊ $g^{ноб} = 15,0$ × $g^{ноб} = 16,0$ ● $g^{ноб} = 17,0$
 + $g^{ноб} = 18,0$ △ $g^{ноб} = 19,0$ □ $g^{ноб} = 20,0$

Рис. 4. Изменение прибыли авиакомпании в зависимости от оценки вероятности происшествия и удельного расхода топлива в расчете на пассажиро-километр для нового типа самолетов

В тех случаях, когда изменение прибыли авиакомпаний не будет положительным, они не будут заинтересованы в ускоренной замене старой, менее безопасной авиатехники, и потребуются государственное вмешательство для стимулирования смены самолетов на более безопасные.

По причине исчерпания возможностей совершенствования конструкции современных гражданских самолетов и авиадвигателей, маловероятно существенное сокращение удельного расхода топлива новыми моделями ближнесреднемагистральных самолетов, которые планируется вывести на рынки в обозримом будущем – в 2020–2025 гг. Значительные улучшения, запланированные на более отдаленную перспективу, см. [8], уже требуют радикальных инноваций. В ближайшем же будущем можно рассчитывать на повышение топливной экономичности на 20–25% от нынешнего уровня, т.е. на снижение удельного расхода топлива с нынешних 20–22 г/пкм до 15–17 г/пкм. Легко

видеть, что без учета повышения безопасности полетов появление такого нового поколения изделий не вызовет морального устаревания современных самолетов и их массовой ускоренной замены: при нынешней цене авиатоплива ожидаемая экономия при переходе на новую технику составит, в лучшем случае, лишь 0,005 долл./пкм, тогда как ставка амортизации новых изделий окажется заведомо не ниже современного уровня 0,01 долл./пкм. Сопоставление указанных значений и $g^{\text{нов}}$ с графиком на рис. 4 показывает, что авиакомпании будут экономически заинтересованы в немедленном приобретении самолетов нового поколения только при условии, что вероятность попадания в авиационное происшествие сократится от нынешнего уровня до $4\text{--}5 \cdot 10^{-9}$ пкм⁻¹, т.е. в 4–5 раз. В принципе, такой уровень безопасности полетов уже достигнут в последние годы в гражданской авиации наиболее экономически развитых стран мира, т.е. он принципиально достижим даже при нынешнем техническом уровне авиационной техники и наземной инфраструктуры. Как отмечено выше, проведенный учеными и специалистами отрасли системный анализ сложившегося положения дел в сфере безопасности полетов в нашей стране (см., например, [3]) показал, что свыше 80% причин авиационных происшествий связано с человеческим фактором на стадии эксплуатации, технического обслуживания и ремонта авиатехники. Но это отнюдь не означает, что минимизировать влияние этих факторов авиационная промышленность совершенно не в состоянии. Проведенный анализ показывает, что авиационная промышленность экономически заинтересована в разработке авиатехники, практически не позволяющей нарушить правила ее безопасной эксплуатации, преднамеренно или непреднамеренно. Разумеется, не подвергается сомнению актуальность совершенствования институциональной среды в гражданской авиации, механизмов обеспечения дисциплины эксплуатации, совершенствования системы подготовки операторов (в том числе, опять-таки, при активном участии авиационной промышленности – в части разработки тренажерных технологий и тренажерной техники).

4. Заключение

1. Разработана упрощенная экономико-математическая модель зависимости спроса на авиаперевозки и новую авиатехнику от уровня риска авиационного происшествия, причем, в отличие от традиционных моделей подобного рода, в суммарную стоимость пассажира-километра включено слагаемое, отражающее ожидаемые потери в случае происшествия. Аналитическое исследование модели и расчеты с использованием реалистичных исходных данных показали, что на авиастроителях увеличение субъективной оценки пассажирами вероятности авиационного происшествия отразится гораздо более глубоким спадом выпуска, чем на авиакомпаниях. В свою очередь, ущерб от краткосрочного спада выпуска авиатехники может быть велик из-за утраты накопленного опыта и деградации человеческого капитала. Следовательно, авиастроители больше, чем перевозчики, заинтересованы в повышении уровня безопасности полетов, даже за пределами своей зоны ответственности.

2. Определены условия, при которых для авиакомпаний становится целесообразным, с экономической точки зрения, досрочное списание современной авиатехники и ее замена на новую, более безопасную. Для этого было рассмотрено изменение совокупной прибыли авиакомпаний после замены старой техники на новую и учтено не только сокращение удельных затрат на пассажиро-километр, но и повышение спроса на авиаперевозки вследствие повышения доверия пассажиров. Расчеты с использованием реалистичных исходных данных показывают, что при реально достижимом для следующего поколения гражданских ближне- и среднемагистральных самолетов сокращении расхода топлива с нынешних 20–22 г/пкм до 15–17 г/пкм досрочная замена современной авиатехники станет экономически целесообразной, если вероятность авиационного происшествия сократится в 4–5 раз. Такой уровень безопасности полетов может быть достигнут при условии системных преобразований в авиатранспортной отрасли, а также благодаря новым конструктивно-технологическим решениям, нацеленным на минимизацию риска негативного проявления человеческого фактора. Авиационная промышленность экономически заинтересована в выработке таких решений.

Литература

1. КЛОЧКОВ В.В. *Управление инновационным развитием гражданского авиастроения: монография.* – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. – 280 с.
2. ПОЗАМАНТИР Э.И. *Модели спроса на перевозки* // Экономико-математический энциклопедический словарь. – М.: Большая Российская Энциклопедия, 2003. – С. 506–508.
3. УВАРОВ Р.В. *Формирование организационно-экономического механизма обеспечения безопасности полетов:* Дис. канд. экон. наук. – М., 2005 – 167 с.
4. BEN-AKIVA M., LERMAN S.M. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand.* – MIT Press, Cambridge, Mass., 1985.
5. BENKARD C.L. *A Dynamic Analysis of the Market for Wide-bodied Commercial Aircraft* // Review of Economic Studies. – 2004. – Vol. 71, No. 3. – P. 581–611.
6. BORENSTEIN S., ZIMMERMAN M.B. *Market Incentives for Safe Commercial Airline Operations* // The American Economic Review. – 1988. – Vol. LXXVII, No. 5. – P. 913–936.
7. CUNNINGHAM L. F., YOUNG C.E., LEE M. *Perceptions of Airline Service Quality: Pre and Post 9/11* // Public Works Management & Policy. – 2004. – Vol. 9, No. 1. – P. 10–25.
8. *National Plan for Aeronautics Research and Development and Related Infrastructure.* – NASA, 2007. – 56 p.
9. SQUALLY J., SAAD M. *Accidents Airline Safety Perceptions and Consumer Demand* // Journal of Economics and Finance. – 2006. – Vol. 30, No. 3. – P. 297–305.
10. WRIGHT T.P. *Factors Affecting the Cost of Airplanes* // Journal of Aeronautical Sciences. – 1936. – Vol. 3. – P. 122–128.
11. <http://www.faa.gov/> (дата обращения 23.05.2011).
12. <http://www.gks.ru/> (дата обращения 23.05.2011).
13. <http://www.nts.gov/> (дата обращения 23.05.2011).
14. <http://poezdka.ru> (дата обращения 20.05.2011).
15. <http://rzd.ru/> (дата обращения 20.05.2011).

EFFICIENCY ANALYSIS OF AIRCRAFT SAFETY INCREASE ECONOMIC INCENTIVES

Ekaterina Varyukhina, Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, postgraduate student (*eyebrow@yandex.ru*).

Vladislav Klochkov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, leading research fellow (*vlad_klochkov@mail.ru*).

Abstract: The economic-mathematical efficiency analysis of natural market mechanisms that stimulate the aircraft safety increase was carried out. It was shown that aircraft industry is more vulnerable in passenger traffic decrease than airlines after plane crashes so the aircraft industry is more interested in flight safety than airlines.

Keywords: flight safety, air traffic, aircraft, economic interest, incentives, economic-mathematical modeling.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии В.Д. Богатыревым*

*3-я Российская конференция
с международным участием
«Технические и программные средства
систем управления, контроля и измерения» (УКИ-12)*

*ИПУ РАН, Москва, 16-19 апреля 2012 г.
<http://стт.ipu.ru>*