

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ 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, авиаперевозки, авиатехника, экономическая заинтересованность, механизмы управления, 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.),

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).

авиакомпания также несет потери, связанные с сокращением спроса 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 [5] 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 т.н. *дерегулирования авиаперевозок* в США. По его результатам (а также по результатам более поздних исследований, опирающихся на названную основополагающую работу в методологическом отношении, см. [6, 8]) было признано, что рыночные силы недостаточно эффективно обеспечивают заинтересованность авиаперевозчиков в повышении безопасности полетов, и в этом отношении необходим жесткий государственный контроль. В российской гражданской авиации в связи с переходом к рыночной экономике и либерализацией рынков авиаперевозок стали актуальными, фактически, те же проблемы. Например, в диссертационной работе [3] проводится анализ разнообразных, в т.ч. организационных причин и экономических последствий авиационных происшествий в

российских условиях. Установлено, что подавляющее большинство причин авиационных происшествий (по результатам обобщения статистических данных, проведенного автором указанного диссертационного исследования – 88-90%) относится к разнообразным негативным проявлениям человеческого фактора в эксплуатации – от ошибок операторов до преднамеренного нарушения дисциплины. Поэтому в указанной работе предлагаются различные организационно-экономические механизмы, повышающие заинтересованность персонала гражданской авиации (как авиакомпаний, так и инфраструктурных служб) в повышении безопасности полетов. Это, безусловно, актуально даже в условиях государственного регулирования, поскольку последнее касается авиакомпаний в целом, тогда как безопасность полетов зависит от действий конкретных операторов и должностных лиц.

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 – ведь, как отмечено выше, подавляющая доля авиационных происшествий связана с человеческим фактором в эксплуатации. Т.е., даже если сократить до нуля вероятность катастрофических отказов техники, радикального повышения 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 виновен 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.

Актуальность превентивного обеспечения безопасности полетов разработчиками и производителями авиатехники повышается по следующей важной причине. Государственный контроль в сфере безопасности полетов (необходимость которого, как говорилось выше, ныне не подвергается сомнению даже в странах с либеральной рыночной экономикой) на практике все более затруднен в связи с глобализацией, появлением разнообразных (в т.ч. весьма изощренных) бизнес-стратегий авиакомпаний и т.п. Как отмечено в проведенном под эгидой ИКАО (Международной организации гражданской авиации) исследовании [1], под влиянием этих факторов затрудняется определение ответственности и полномочий должностных лиц, организаций и контролирующих органов – становится проблематичным даже однозначное определение принадлежности воздушных судов. И вполне возможно, что максимизирующие свою выгоду авиакомпании будут стремиться выводить свой бизнес из-под действия более жестких форм контроля безопасности.

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 [5, 6]. Предлагается упрощенная структурная экономико-математическая модель зависимости спроса на авиаперевозки от уровня риска авиационного происшествия (в отличие от весьма сложной модели [8], пригодная для аналитического исследования). В данной модели рассматривается выбор пассажиров, дифференцированных по доходным группам, между воздушным и наземным транспортом в дальнем сообщении. 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 пассажиро-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). Но, в отличие от традиционных моделей подобного рода (использованных, например, в работе [2]), в суммарную стоимость пассажиро-километра здесь добавлено слагаемое, отражающее ожидаемые потери в случае происшествия. Т.е. пассажир считается нейтральным по отношению к риску, и получаемые таким образом оценки спроса на авиаперевозки можно считать оптимистическими, завышенными.

Пусть пассажир оценивает потери при происшествии в R денежных единиц:

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

где M – его среднемесячный доход, φ - 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:

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

Эта добавка учитывается в полной стоимости пкм:

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

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

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

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

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

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

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

где k - вид транспорта (железнодорожный или авиационный), $\beta = z / M_i$.

Предполагаем, что представитель i -ой доходной группы предпочтет авиатранспорт железнодорожному, если $L_i^{авиа} \geq L_i^{жд}$, т.е. ставится задача максимизации подвижности пассажира. Суммируя дальности поездок для тех доходных групп, чьи представители выберут авиатранспорт, и умножая на численность населения n_i в i -й доходной группе, получим пассажирооборот W воздушного транспорта, определяющий в т.ч. и спрос на продукцию авиастроения, выражаемый в пассажиро-километрах

(пкм):

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

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

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 вышесказанной оценки вероятности происшествия, строится модель совокупного спроса на авиатехнику в зависимости от пассажирооборота гражданской авиации, 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.

Введем следующие условные обозначения:

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

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

m - пассажироместность одного воздушного судна, мест;

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

η - 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 летных часах. Тогда эксплуатируемые изделия будут в среднем вырабатывать за год долю ресурса, равную η/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):

$$(9) \quad q_{\text{спис}}(t) = \frac{\eta}{T} N_3(t).$$

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 η , рейсовой скорости v , пассажироместимости m и коэффициента заполнения кресел k , потребная численность парка пропорциональна пассажирообороту. Тогда в будущем году $t+1$ потребуется 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:

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

Если изначально не было ни дефицита, ни избытка провозных мощностей, тогда $N(t) = W(t) / (v \cdot \eta \cdot k \cdot m)$, $N_s(t) = N(t)$, и выражение упрощается:

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

Считаем, что мощности авиастроения считаются достаточными 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. [2].

Распределение населения по величине среднедушевых денежных доходов, основанное на официальных данных Росстата за 2009 г. [11], представлено на рис. 1.

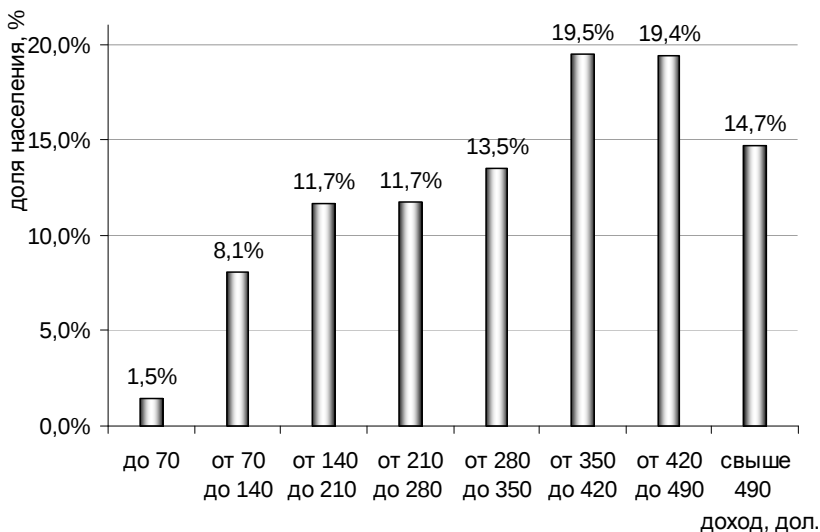


Рис. 1. Распределение населения по величине среднедушевых денежных доходов (по данным Росстата).

В расчете по описанной модели использовались следующие данные, близкие к реальным для России: коэффициент оценки потерь при происшествии по отношению к месячному доходу $\varphi=1000$; рейсовая скорость самолета $V^{\text{авиа}} = 800$ км/ч; скорость железнодорожного транспорта $V^{\text{жд}} = 50$ 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 [13] 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 [14] 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 $\phi^{\text{авиа}}=2 \cdot 10^{-8}$ пкм⁻¹, на железнодорожном транспорте $\phi^{\text{жл}}=2 \cdot 10^{-9}$ пкм⁻¹, $m=150$, $v=800$ км/ч, $\eta=3000$ л.ч., что соответствует параметрам среднемагистрального самолета; $\beta=1/200$ (считаем, что в месяце 25 рабочих дней, в рабочем дне – 8 рабочих часов). Ожидания авиакомпаний относительно пассажирооборота считаются статическими, т.е. $W_e(t+1)=W(t)$, и в соответствии с (10), $N_{\text{потреб}}(t+1)=N_{\text{нотреб}}(t)$. Таким образом, предполагается, 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.

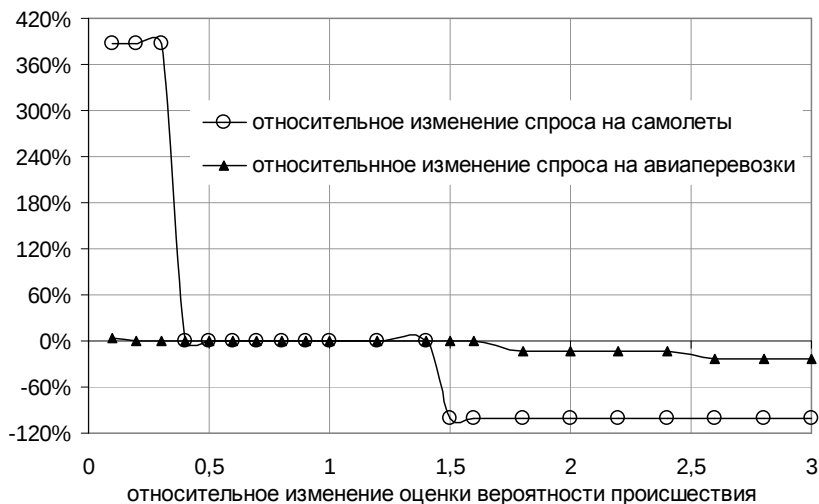


Рис. 2. Относительное изменение спроса на самолеты и авиаперевозки в зависимости от относительного изменения оценки вероятности происшествия

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 оценки 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 данной графике связаны с тем, что приведенное на рис.1 распределение населения по величине среднедушевых доходов дискретно.

Следует подчеркнуть, что выражение (5) и линейная комбинация потерь при авиационных происшествиях и прямых денежных затрат означают, что пассажир риск-нейтрален. На самом деле это не так – вероятнее всего, он не расположен к риску, поэтому приведенные выше оценки следует рассматривать как 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) [12], с 2000 по 2001 гг. (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 вызвало спад пассажирооборота за год, последовавший за данными событиями, на 9% относительно аналогичного периода до этих событий, см. [10]. 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 [2]).

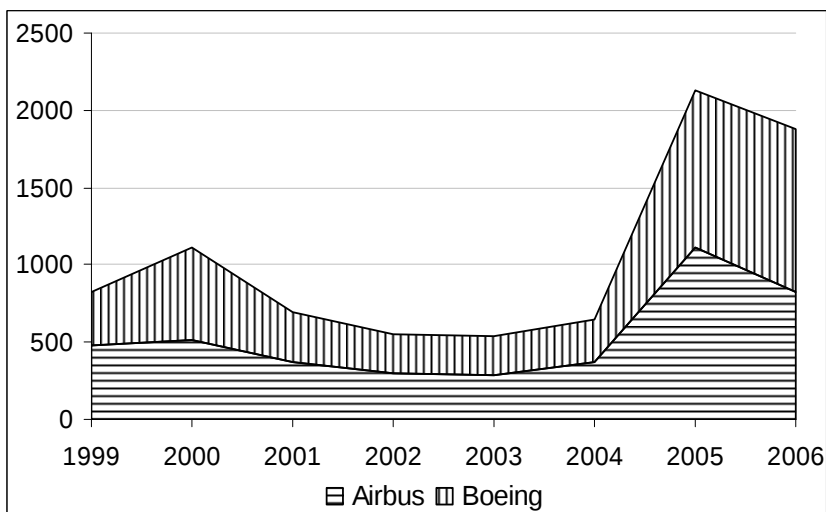


Рис. 3. Относительное изменение спроса на магистральные пассажирские самолеты в окрестности 2001 г.

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 [4, 9], удвоение выпуска гражданских самолетов приводит к снижению удельных трудозатрат 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 [4], за год простоя самолетостроительного производства теряется около 40% накопленного опыта. Следовательно, авиастроители, как и

предполагалось, гораздо больше, чем авиакомпаниям, 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 [2] 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 $\Delta\P$ выражается следующим образом:

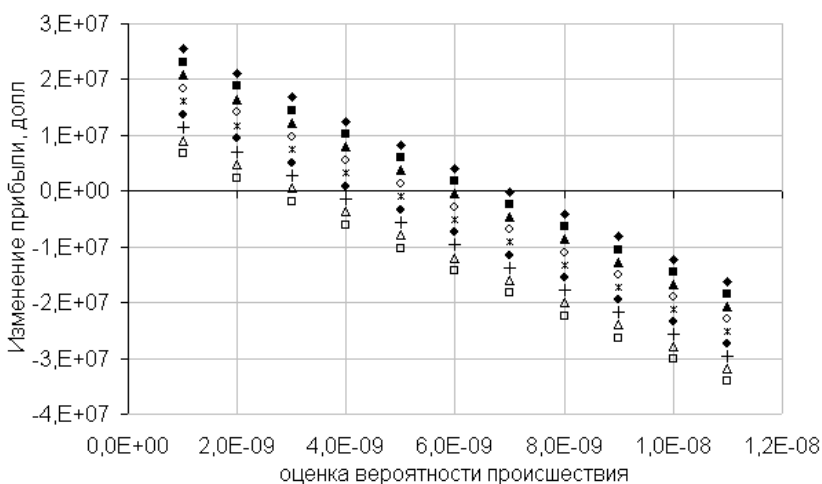
$$(13) \quad \Delta\P = \Pi^{нов} - \Pi^{стар} = W^{нов} (p^{авиа} - a^{нов} - p_{ГСМ} g^{нов} - c_{ТОиР}^{нов}) - W^{стар} (p^{авиа} - p_{ГСМ} g^{стар} - c_{ТОиР}^{стар})$$

где $C_{ТОиР}^{стар}$ и $C_{ТОиР}^{нов}$ - стоимость технического обслуживания и ремонта (ТОиР) воздушных судов, соответственно, старого и нового типа; $W^{стар}$ и $W^{нов}$ - соответственно, пассажирооборот до замены старой техники и после замены авиапарка на новые воздушные суда; $g^{стар}$ и $g^{нов}$ - удельный расход топлива, в расчете на пассажиро-километр, воздушных судов, соответственно, старого и нового типа; $p_{ГСМ}$ - цена авиатоплива (горючесмазочных материалов, ГСМ); $p^{авиа}$ - тариф, в расчете на пассажиро-километр (здесь он считается постоянным, т.е. оптимизация ценовой политики авиакомпаний не рассматривается); $a^{нов}$ - 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 $g^{стар} = 20 \text{ г/пкм}$, цена ГСМ $p_{ГСМ} = 1000 \text{ долл./тонн}$, амортизация нового самолета $a^{нов} = 0,01 \text{ долл./пкм}$ (оценка приведена в работе [2]), стоимость ТОиР $C_{ТОиР}^{нов} = C_{ТОиР}^{стар} = 0,01 \text{ долл./пкм}$.

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.



$\blacklozenge g^{тоб} = 12,0$ $\blacksquare g^{тоб} = 13,0$ $\blacktriangle g^{тоб} = 14,0$ $\diamond g^{тоб} = 15,0$ $* g^{тоб} = 16,0$ $\bullet g^{тоб} = 17,0$
 $+ g^{тоб} = 18,0$ $\triangle g^{тоб} = 19,0$ $\square g^{тоб} = 20,0$

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 истощения 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. [7], уже потребуют 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 т.ч., 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 пассажира-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 ближнесреднемагистральных 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. Исследование аспектов экономической либерализации, связанных с безопасностью полетов и авиационной безопасностью / Рабочие документы 5-й Всемирной авиатранспортной конференции. Montreal: ICAO, 2003 – 51 p.
2. КЛОЧКОВ В.В. *Управление инновационным развитием гражданского авиастроения: монография.* – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. – 280 с.
3. УВАРОВ Р.В. *Формирование организационно-экономического механизма обеспечения безопасности полетов* // дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. М., 2005 – 167 с.
4. BENKARD, C.L. *A Dynamic Analysis of the Market for Wide-bodied Commercial Aircraft* / Review of Economic Studies, vol. 71, No. 3, Jun., 2004, pp. 581-611.
5. BORENSTEIN, S. and ZIMMERMAN, M.B. *Market Incentives for Safe Commercial Airline Operations* // The American Economic Review. Vol. LXXVII, No.5 (December 1988), pp. 913-936.
6. CUNNINGHAM, LAWRENCE F., YOUNG, CLIFFORD E. and LEE, MOONKYU. *Perceptions of Airline Service Quality: Pre and Post 9/11* / Public Works Management & Policy, Vol. 9, No. 1, 10-25 (2004)
7. National Plan for Aeronautics Research and Development and Related Infrastructure // NASA, 2007 – 56 p.
8. SQUALLY, JAY and SAAD, MOHSEN. *Accidents Airline Safety Perceptions and Consumer Demand* / Journal of Economics and Finance. Vol. 30, No. 3 (September 2006), pp. 297-305.
9. WRIGHT, T.P. *Factors Affecting the Cost of Airplanes* / Journal of Aeronautical Sciences, vol. 3, February 1936, pp. 122-128.
10. <http://www.faa.gov/> (дата обращения 23.05.2011)
11. <http://www.gks.ru/> (дата обращения 23.05.2011)
12. <http://www.nts.gov/> (дата обращения 23.05.2011)
13. <http://poezdka.ru> (дата обращения 20.05.2011)
14. <http://rzd.ru/> (дата обращения 20.05.2011)

EFFICIENCY ANALYSIS OF AIRCRAFT SAFETY ECONOMIC CONTROL MECHANISMS

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

Ekaterina Varyukhina, Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, postgraduate student (eyebrow@yandex.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 , control mechanism, economic-mathematical modeling.