

УДК 62-78

Е. В. Варюхина

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Анализ эффективности экономических механизмов стимулирования повышения безопасности полетов

Проведен экономико-математический анализ эффективности естественных рыночных механизмов, стимулирующих повышение безопасности полетов, государственного регулирования безопасности полетов и их комбинированного механизма. Показано, что естественный механизм существенно менее эффективный, чем государственное регулирование.

Ключевые слова: безопасность полетов, авиаперевозки, экономическая заинтересованность, механизмы управления, экономико-математическое моделирование, государственное регулирование безопасности полетов.

1. Введение

В связи с рядом тяжелых авиационных происшествий в 2011 г. большую важность приобретает вопрос о целесообразности превентивных мер, направленных на недопущение (или, по крайней мере, минимизацию возможности) ошибок экипажа и тем более преднамеренного нарушения установленного порядка действий.

По мнению автора статьи [1], Россия, некогда сильная авиационная держава, стала одной из самых опасных стран для полетов. Расследования девяти катастроф 2011 года, включая унесшую жизни всех членов хоккейного клуба, показали массу нарушений и ошибок, таких как употребление алкоголя экипажем, подделка документов по безопасности и плохая подготовка пилотов к внештатным ситуациям, в том числе психологическая. Количество катастроф и происшествий по отношению к объему воздушных перевозок в России превысило аналогичное значение для менее развитых стран с давними проблемами безопасности, включая Конго и Индонезию (по данным консалтинговой компании в сфере авиации Ascend).

Как показывают официальные результаты расследований комиссий МАК (Межгосударственного авиационного комитета), формально в большинстве указанных происшествий виновны экипажи. В ряде случаев имели место непреднамеренные ошибки, но встречаются и преднамеренные нарушения РЛЭ и других инструктивных документов. В свою очередь ошибки нередко были вызваны эргономическим несовершенством кабины и ВС в целом (в особенности авиатехники устаревших типов). Также в диссертационной работе [3] проводится анализ причин и авиационных происшествий в российских условиях. Установлено, что подавляющее большинство причин происшествий относится к разнообразным проявлениям человеческого фактора в эксплуатации — от ошибок операторов до преднамеренного нарушения дисциплины.

На примере гражданской авиации рассматривается вопрос, насколько эффективно рыночные силы стимулируют повышение безопасности полетов. Так, после авиационных происшествий (катастроф) авиакомпания несут непосредственные потери (такие, как потеря имущества, выплаты пострадавшим или их родственникам, судебные издержки и т.п.), а также падает доверие потенциальных пассажиров к воздушному транспорту, что заставляет их отказываться от поездок либо выбирать иные виды транспорта, следовательно, авиакомпании также несут потери, связанные с сокращением спроса на авиаперевозки. По мнению экономистов либерального направления, данный механизм может регулировать безопасность полетов. Однако в пионерской работе [4] эконометрическими методами было показано, что потери самих авиакомпаний вследствие сокращения спроса на авиаперевозки после авиационных происшествий, как ни парадоксально, достаточно слабы.

Другим механизмом регулирования безопасности может быть возмещение ущерба пострадавшим путем наложения штрафов на авиакомпании за происшествия. Результатом некоторых исследований ([5] и [6]) является то, что рыночные силы недостаточно эффективно обеспечивают заинтересованность авиаперевозчиков в повышении безопасности полетов, и, следовательно, необходим жесткий государственный контроль.

Исследуем, какой из методов управления безопасностью полетами является более эффективным: регулирование естественными рыночными силами, регулирование штрафами или комбинация естественных рыночных сил и штрафов.

Для анализа эффективности каждого из механизмов были разработаны математические модели изменения прибыли авиаперевозчика в зависимости от влияния различных факторов.

В работе рассмотрена замена парка самолетов как способ повышения безопасности полетов, однако вместо замены парка как такового можно рассмотреть замену всей технологии авиаперевозок: диагностического оборудования, инфраструктуры, системы контроля, авиационных тренажеров и т.д.

2. Механизм естественных рыночных сил

Для оценки влияния уровня безопасности полетов на конъюнктуру рынка авиаперевозок строится экономико-математическая модель зависимости спроса на авиаперевозки от уровня риска авиационного происшествия.

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 (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. То есть 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 долларов:

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

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:

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

Эта добавка учитывается в полной стоимости пкм:

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

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:

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

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 -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:

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

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

Предполагаем, что представитель i -й доходной группы предпочтет авиатранспорт железнодорожному, если $L_i^{\text{авиа}} \geq L_i^{\text{жд}}$, т.е. 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, выражаемый в пассажиро-километрах:

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

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

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.

Распределение населения по величине среднедушевых денежных доходов, основанное на официальных данных Росстата за 2009 г. [8], представлено на рис. 1.

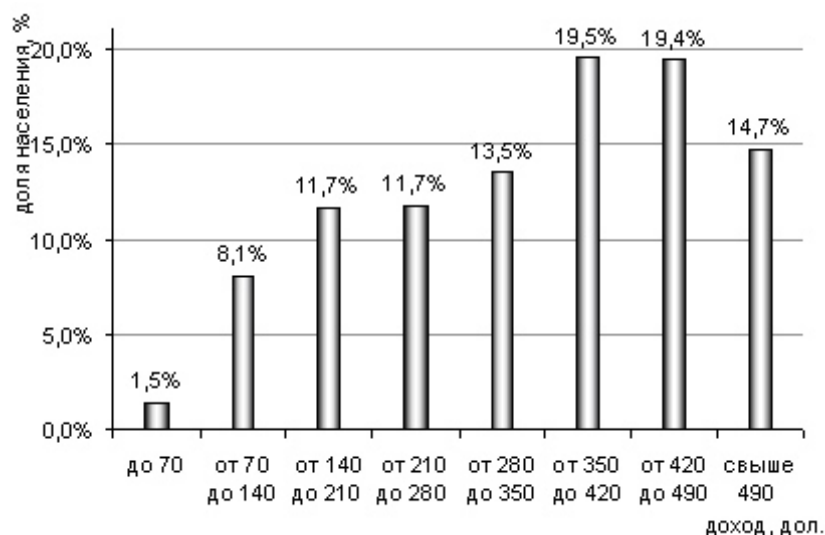


Рис. 1. Распределение населения по величине среднедушевых денежных доходов (по данным Росстата)

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 [10] как отношение стоимости билета к дальности полета для разных направлений и авиакомпаний, рассматривался только эконом-класс с тарифом, не предусматривающим 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 [11] 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 $\psi^{\text{авиа}} = 2 \cdot 10^{-9}$ пкм⁻¹ [7], [9], на железнодорожном транспорте $\psi^{\text{жд}} = 2 \cdot 10^{-10}$ пкм⁻¹, $\beta = 1/176$.

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 и повышении таким образом безопасности полетов, необходимо рассмотреть изменение совокупной прибыли авиакомпаний после замены старой техники на более безопасную.

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

$$\Delta\Pi = \Pi^{\text{нов}} - \Pi^{\text{стар}} = W^{\text{нов}}(p^{\text{авиа}} - a^{\text{нов}} - p_{\text{ГСМ}}g^{\text{нов}} - c_{\text{ТОиР}}^{\text{нов}}) - W^{\text{стар}}(p^{\text{авиа}} - p_{\text{ГСМ}}g^{\text{стар}} - c_{\text{ТОиР}}^{\text{стар}}), \quad (7)$$

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 (горючесмазочных 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 равна отношению стоимости самолета к его суммарному объему транспортной работы за весь расчетный срок службы).

В расчете модели использовались следующие значения параметров: удельный расход топлива $g^{\text{стар}} = 23$ г/пкм, цена ГСМ $p_{\text{ГСМ}} = 1000$ долл/тонн, амортизация нового самолета $a^{\text{нов}} = 0,01$ долл/пкм (оценка приведена в работе [2]), 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.

Приведенные выше выражения (1) – (7) представляют собой математическую модель влияния естественных рыночных сил на изменение прибыли авиакомпании.

На рис. 2 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.

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. С уменьшением расхода топлива при сохранении оценки вероятности происшествия на одном уровне изменение прибыли увеличивается.

По заявленным характеристикам новый самолет Boeing 787 будет обеспечивать расход топлива на уровне 16 г/пкм, притом что расход эксплуатируемых в настоящее время самолетов составляет 23 г/пкм. Таким образом, при одном и том же уровне оценки вероятности происшествия, например на уровне $6 \cdot 10^{-9}$, изменение прибыли при смене старого самолета на новый составит более 10 млн долл. в год.

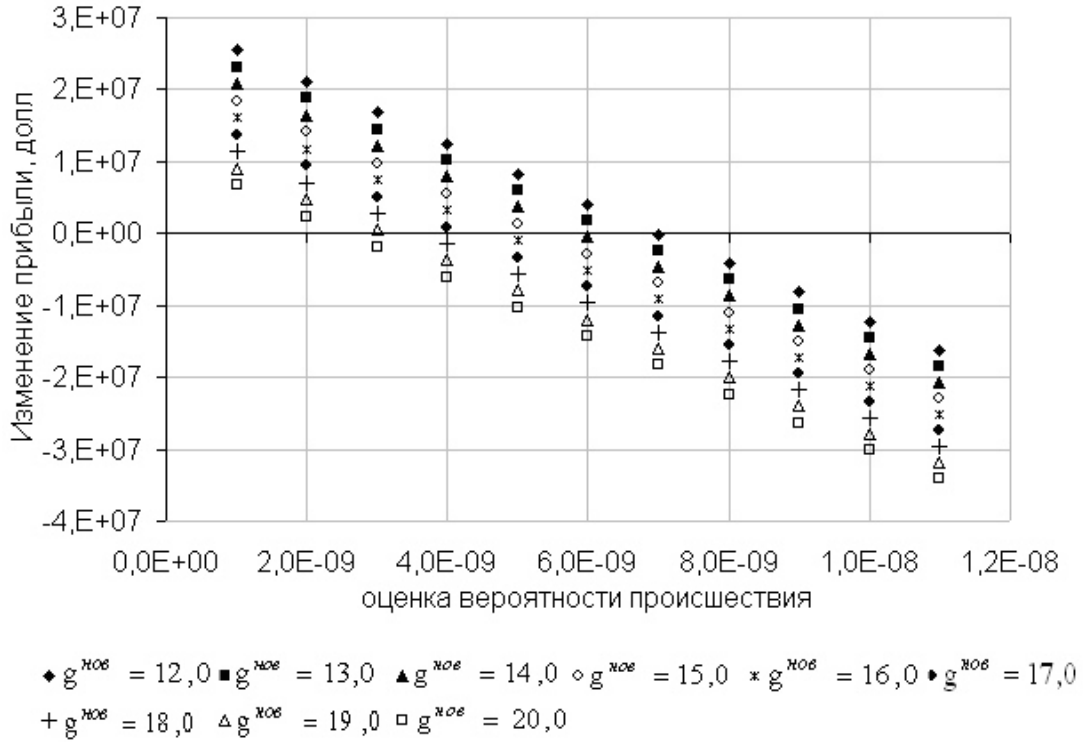


Рис. 2. Изменение прибыли авиакомпании в зависимости от оценки вероятности происшествия и удельного расхода топлива в расчете на пкм для нового типа самолетов

3. Государственное вмешательство

В случае происшествий авиакомпании выплачивают пострадавшим или их представителям компенсацию за ущерб или штраф в том размере, что она компенсирует риск-нейтральному потребителю ожидаемые потери, и уровень безопасности не влияет на спрос на перевозки.

Для оценки влияния штрафов на управление безопасностью полетов строится модель изменения прибыли в зависимости от изменения оценки вероятности происшествия и уровня штрафа. Аналогично модели (1) – (7), построим модель, учитывающую влияние государственного вмешательства в виде штрафов за происшествие, но не учитывающую воздействие естественных рыночных сил.

Полную стоимость пкм в этом случае можно выразить следующим образом:

$$C_{пкм} = p + \frac{z}{v}. \tag{8}$$

Максимальная дальность поездки пассажира из i -й доходной группы на k -м виде транспорта будет составлять:

$$L_i^k = \frac{12(M_i - M^{\min})\alpha}{p^k + \frac{\beta}{v^k} \times M_i}. \tag{9}$$

Изменение прибыли авиакомпаний страны выражается следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi &= \Pi^{\text{нов}} - \Pi^{\text{стар}} = W(p^{\text{авиа}} - a^{\text{нов}} - p_{\text{ГСМ}}g^{\text{нов}} - c_{\text{ТОиР}}^{\text{нов}} - \psi^{\text{нов}} \times f) - \\ &\quad - W(p^{\text{авиа}} - p_{\text{ГСМ}}g^{\text{стар}} - c_{\text{ТОиР}}^{\text{стар}} - \psi^{\text{стар}} \times f) = \\ &= W(-a^{\text{нов}} + p_{\text{ГСМ}}g^{\text{стар}} - p_{\text{ГСМ}}g^{\text{нов}} + f \times (\psi^{\text{стар}} - \psi^{\text{нов}})), \end{aligned} \tag{10}$$

где f — штраф за отказ техники, долл., остальные параметры описаны в модели естественных рыночных сил.

В расчете модели использовались данные, аналогичные данным в модели естественных рыночных сил, удельный расход топлива, г/пкм: $g_{ст} = 23$, $g_{нов} = 16$.

Формулы (6), (8), (9) представляют собой модель изменения прибыли в зависимости от изменения оценки вероятности происшествия и уровня штрафа.

На рис. 3 изображены значения изменения прибыли авиакомпаний гражданской авиации России (пассажирооборот рассчитан на основе вышеописанной структурной модели) при различных уровнях штрафа за происшествие как функции оценки вероятности происшествия.

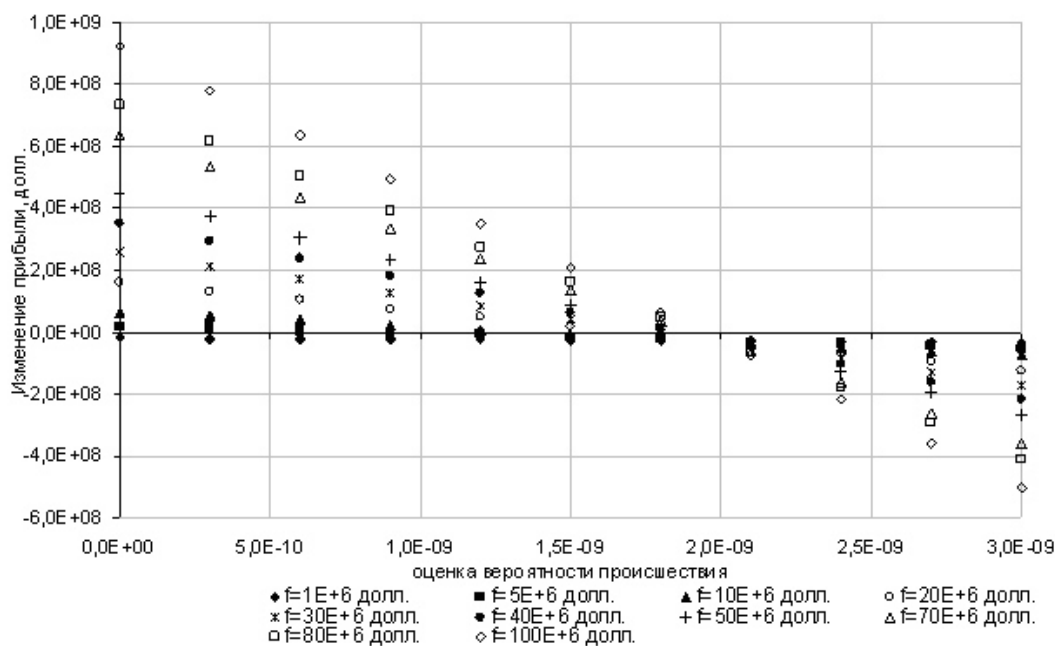


Рис. 3. Изменение прибыли в зависимости от оценки вероятности происшествия и штрафа за отказ для механизма штрафов

Считаем, что размер штрафа за катастрофу должен составлять совокупный доход всех (погибших) пассажиров самолета, который они могли бы получить, дожив до возраста выхода на пенсию. Диапазон штрафов выбран таким образом, чтобы накрыть все доходные группы потенциальных пассажиров (см. рис. 1), так как мы сопоставляем механизм штрафов с естественным механизмом, где пассажиры оценивают свой риск, исходя из своего дохода.

В тех случаях, когда изменение прибыли авиакомпаний не будет положительным, они не будут заинтересованы в ускоренной замене старой, менее безопасной авиатехники. Данная модель позволяет оценить уровень штрафа при каждом уровне оценки безопасности происшествия, который будет эффективен для регулирования безопасности полетов. Например, штраф в 1 млн долл. не будет эффективным для всех значений оценки безопасности, при уровне больше 5 млн долл. государственное вмешательство становится эффективным, уровень штрафа порядка стоимости среднемагистрального самолета 30–50 млн долл. может быть серьезным стимулом для авиакомпании к смене самолета на новый.

4. Комбинированный механизм

Данный механизм учитывает как падение спроса на перевозки, так и возмещение ущерба пострадавшим от происшествия.

Пусть пассажир оценивает потери при происшествии в R долларов. Тогда, если субъективная оценка вероятности происшествия в расчете на один пассажиро-километр равна

ψ , дополнительные ожидаемые потери из-за низкой безопасности полетов составят:

$$C_{\text{ПКМ}} = p + \frac{z}{v} + \psi \cdot R. \quad (11)$$

Максимальная дальность поездки пассажира из i -й доходной группы на k -м виде транспорта будет составлять:

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

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

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

В расчете модели использовались данные, аналогичные данным в модели естественных рыночных сил и модели штрафов.

Формулы (6), (11), (12), (13) представляют собой модель изменения прибыли, учитывающую как падение спроса на перевозки, так и штраф за происшествие.

Результаты расчетов изменения прибыли в зависимости от оценки вероятности происшествия и величины штрафа за происшествие представлены на рис. 4.

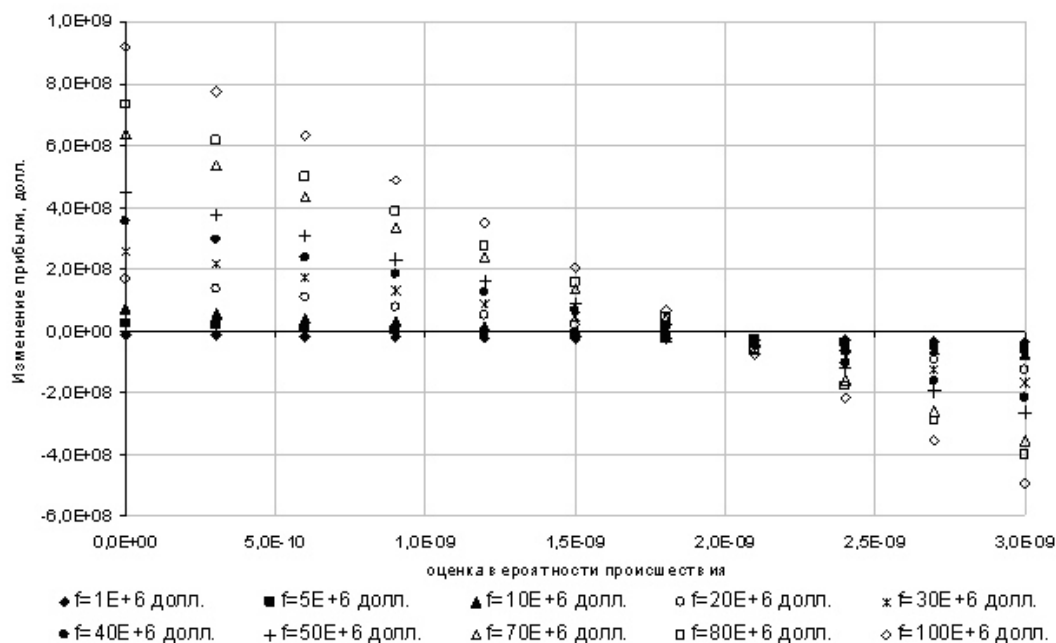


Рис. 4. Изменение прибыли в зависимости от оценки вероятности происшествия и штрафа за отказ для механизма комбинации штрафов и естественных сил

Как и в случае механизма штрафов, см. рис. 3, значение штрафа около 1 млн долл. не является для авиакомпании стимулом к замене техники на новую, более безопасную для любого уровня оценки вероятности происшествия. При значениях штрафов более 5 млн долл. авиакомпании выгоднее повышать безопасность, закупая новую технику.

Для сравнения механизма штрафов и механизма, учитывающего штрафы и естественные рыночные силы, построены графики на рис. 5 и 6. На рис. 5 использованы значения штрафов за происшествие в диапазоне от 1 до 10 млн долл., на рис. 6 использованы значения штрафов от 10 до 100 млн долл.

Видно, что комбинированный механизм более эффективный для стимулирования повышения безопасности полетов, чем механизм штрафов. Однако с увеличением величины штрафов естественный механизм теряет силу, следовательно, разница между механизмом штрафов и комбинированным механизмом стирается.

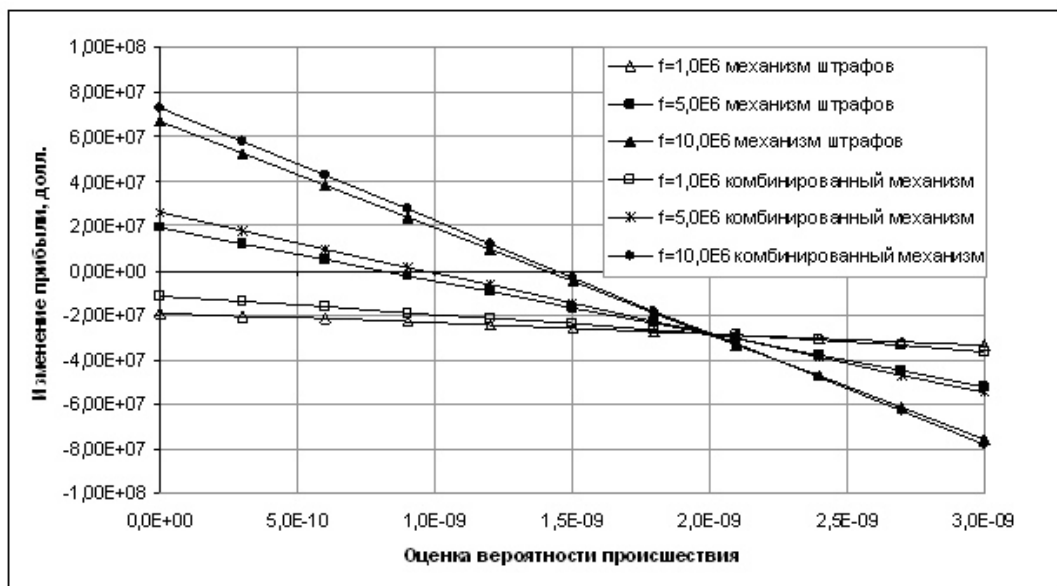


Рис. 5. Изменение прибыли для разных механизмов воздействия на безопасность в зависимости от оценки вероятности происшествия и размера штрафа (для штрафа за происшествие от 1 до 10 млн долл.)

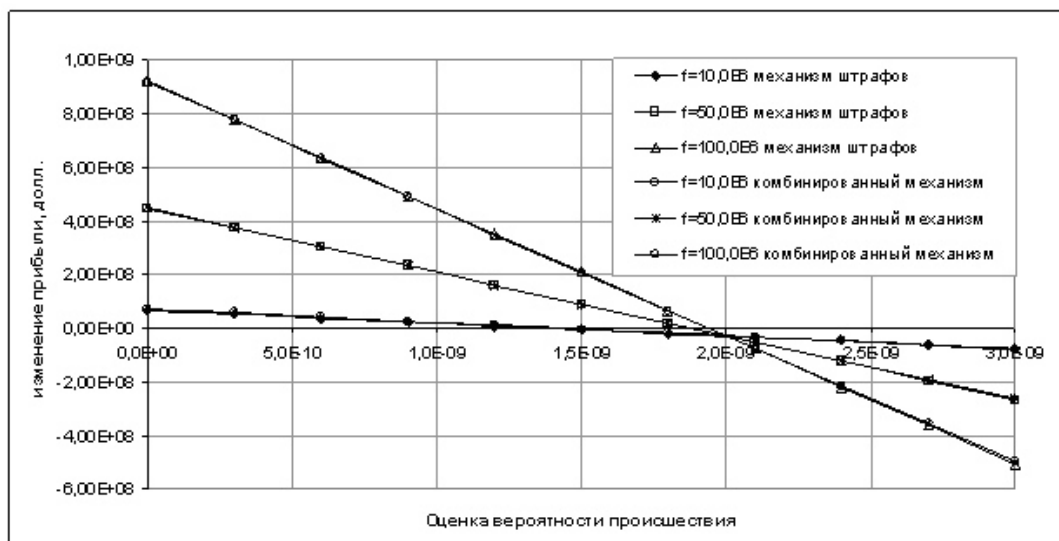


Рис. 6. Изменение прибыли для разных механизмов воздействия на безопасность в зависимости от оценки вероятности происшествия и размера штрафа (для штрафа за происшествие от 10 до 100 млн долл.)

5. Выводы

В работе сделана попытка с экономической точки зрения рассмотреть механизмы, стимулирующие увеличение безопасности полетов, путем перехода на новую технику, разработана соответствующая математическая модель.

Проведенный в работе анализ эффективности экономических механизмов стимулирования повышения безопасности показал, что внедрение авиационной техники нового поколения, обладающей более высоким уровнем безопасности без вмешательства государства позволяет повысить прибыль авиакомпании, т.к. повышается лояльность пассажиров к данному виду транспорта. Так, при снижении вероятности происшествия с нынешних $2 \cdot 10^{-9}$ пкм⁻¹ до $1 \cdot 10^{-9}$ пкм⁻¹ при неизменном расходе топлива 23 г-пкм⁻¹ позволит повысить прибыль авиакомпании на 3 млн долл. С учетом того, что новые типы самолета-

тов обладают пониженным потреблением топлива, например для $16 \text{ г} \cdot \text{пкм}^{-1}$, изменение прибыли при том же снижении вероятности происшествия составляет 15 млн долл.

При государственном регулировании, а именно при наложении штрафа за происшествие, компании так же более выгодно внедрение новой техники для уменьшения вероятности происшествия. Так, при штрафе в 20 млн долл. при снижении вероятности происшествия в 2 раза с нынешней $2 \cdot 10^{-9} \text{ пкм}^{-1}$ до $1 \cdot 10^{-9} \text{ пкм}^{-1}$, прибыль авиакомпании увеличится на 100 млн долл. Снижение уровня безопасности приведет к уменьшению прибыли. Так, при увеличении аварийности в полтора раза с $2 \cdot 10^{-9} \text{ пкм}^{-1}$ до $3 \cdot 10^{-9} \text{ пкм}^{-1}$ прибыль уменьшится на 100 млн долл. Очевидно, что комбинированный механизм будет наиболее эффективным, при этом государственное вмешательство — более сильный механизм, чем естественные рыночные силы. Анализ полученных результатов показал, что при действии механизма штрафов изменение прибыли от 1,125 раз для штрафа в 10 млн долл. до 48 раз для штрафа в 100 млн долл. ниже, чем при естественном регулировании для расхода топлива в $16 \text{ г} \cdot \text{пкм}^{-1}$.

Числовые данные, использованные в модели, характерны для среднемагистральных самолетов, для населения России 2000-х годов. Тем не менее разработанная модель может быть применена для ближнемагистральных и дальнемагистральных самолетов, а также для другой страны и времени.

Литература

1. *White G.L., Michaels D.* Russia Faces New Air-Safety Crisis // The Wall Street Journal, 7 december.
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. *Borenstein S., Zimmerman M.B.* Market Incentives for Safe Commercial Airline Operations // The American Economic Review. — December 1988. — V. LXXVII, N 5. — P. 913–936.
5. *Cunningham L. F., Young C. E., Lee M.* Perceptions of Airline Service Quality: Pre and Post 9/11 / Public Works Management & Policy. — 2004. — V. 9, N 1. — P. 10–25.
6. *Squally J., Saad M.* Accidents Airline Safety Perceptions and Consumer Demand // Journal of Economics and Finance. — 2006.— V. 30. — N 3. — P. 297–305.
7. <http://www.faa.gov/> (дата обращения 15.11.2011).
8. <http://www.gks.ru/> (дата обращения 14.11.2011).
9. <http://www.nts.gov/> (дата обращения 17.11.2011).
10. <http://poezdka.ru> (дата обращения 18.11.2011).
11. <http://rzd.ru/> (дата обращения 18.11.2011).

Поступила в редакцию 09.02.2012.