

# Методологические основы моделирования развития олигополистических рынков продукции с длительным жизненным циклом (на примере рынка гражданской авиационной техники)

*Рассматривается методологический подход к моделированию развития рынка гражданской авиационной техники, основанный на построении моделей развития рынка пассажирских авиаперевозок и рынка производителей. На основе агрегированной динамической модели рационального поведения участников олигополии проведено исследование перспектив развития рынка авиапассажироперевозок США, в ходе которого построены сценарии изменения ключевых показателей рынка (рыночной структуры, пассажирооборота, самолетного парка), а также оценены масштабы влияния цен авиационного топлива на развитие отрасли.*

*В статье построена линейная динамическая модель обучения в процессе производства с учетом эффекта «забывания» опыта применительно к производству магистральных самолетов в компаниях Boeing и Airbus, которая позволяет существенно упростить расчеты и создает надежную основу для формирования сценариев развития рынка гражданской авиационной техники. Предложен подход к формированию требований к технико-экономическим показателям выводимой на рынок новой техники, которая может считаться «прорывной» (на примере рынка узкофюзеляжных магистральных самолетов).*

**Ключевые слова:** моделирование, авиакомпании, авиастроение, олигополистические рынки, прорывные технологии.

## 1. Введение

В связи с интеграцией производств в высокотехнологичном секторе экономики России (конкретные примеры этого — создание Объединенной авиастроительной корпорации, активизация интеграционных процессов в судостроении) и предполагаемым выходом на мировые рынки, актуальной задачей становится разработка рациональных стратегий развития отечественных высокотехнологичных компаний. Решение этой задачи должно базироваться на использовании экономико-математических моделей, адекватно отражающих рыночные процессы.

При моделировании развития рынка гражданской авиационной техники могут быть использованы два подхода, основанные на построении и применении: 1) агрегированных моделей развития воздушного транспорта, а также авиастроения, причем модель каждой из этих отраслей представляет собой единое целое; 2) модели рационального поведения участников

рынка (как потребителей, так и производителей авиационной техники). В рамках первого подхода, см., например, (Jiang, Hansman, 2006), на основе экстраполяции сложившихся связей между экономическими переменными могут быть получены лишь грубые оценки показателей, в частности, показатели предложения и спроса на новую технику. Второй подход, используемый в данной работе, позволяет получить более обоснованное описание процессов с учетом структуры, возможных стратегий и взаимодействий участников рынка, что в итоге позволяет понять конфликт или согласованность интересов отдельных групп участников рынка и, тем самым, предугадать дальнейшие основные тенденции его развития.

Это связано с тем, что рынки как потребителей, так и производителей многих видов высокотехнологичной продукции, в том числе гражданской авиационной техники, функционируют в условиях олигополии. Рынки потребителей во многих случаях характеризуются значительно большим числом участников, чем рынки производителей, из-за наличия значительных барьеров на выход на рынки последних (главным образом из-за высоких первоначальных затрат на исследования и разработки). Так, к началу 2007 г. в гражданской авиации России насчитывалось 182 авиакомпания (Гражданская авиация в России, 2007). Значительное количество участников рынка авиаперевозок характерно и для США, особенно после дерегулирования отрасли в 1978 г.

В то же время, после разрушения отечественного гражданского авиастроения и слияния ведущих авиастроительных компаний США, мировой рынок производителей магистральных самолетов к настоящему времени по сути представлен всего двумя компаниями: Boeing и Airbus. Рынок региональных самолетов также пока функционирует в условиях фактической дуополии, которую образуют компании Embraer и Bombardier. В ближайшее десятилетие рынок производителей самолетов (как магистральных, так и региональных), по-видимому, расширится за счет появления новых участников (российских, китайских, японских).

Что касается рынка потребителей (пассажиروперевозок в воздушном транспорте), то на нем в разных странах в последнее время наметилась консолидация крупных участников в условиях продолжающейся конкуренции со стороны небольших низкокзатратных (low cost) компаний и роста волатильности цен на нефть и авиационный керосин. Начинаясь либерализация мирового рынка воздушных перевозок, в сочетании с усилением требований к экологическим характеристикам эксплуатируемой техники, может привести к повышению рыночного влияния крупных авиакомпаний.

На сегодняшний день за рубежом имеется определенный опыт моделирования развития рынка авиационной техники (см., например, работы (Bencard, 2004; Irwin, Pavcnik, 2004), посвященные анализу рынка широкофюзеляжных самолетов). Однако в них анализ проводится на основе достаточно сложных нелинейных моделей большой размерности, для построения которых необходимы большие массивы технико-экономической информации, а для нахождения оптимальных стратегий вывода каждого вида авиатехники на рынок требуются значительные вычислительные мощности (Bencard, 2004). Кроме того, исследования в упомянутых работах ограничиваются анализом конкуренции в дуополии лишь между двумя компаниями: Boeing и Airbus.

В настоящей статье рассматривается методологический подход к моделированию развития рынка гражданской авиационной техники, основанный на построении игровых агрегированных линейных динамических моделей развития рынка пассажирских авиаперевозок (на примере США) и рынка производителей гражданской авиационной техники (на примере магистральных самолетов). Предлагаемый подход может быть использован при проведении

имитационных расчетов, в частности, для выявления возможных принципиальных изменений на рынке при изменении характера действия тех или иных возмущающих факторов, а также для построения сценариев изменения ключевых показателей рынка. Он основан на надежных алгоритмах вычислений, гарантирующих нахождение оптимальных стратегий у потребителей и производителей, и не требует детальной технико-экономической информации. При его применении достигаются как необходимая степень адекватности моделей, так и упрощение алгоритмов расчета. Отмеченные свойства предлагаемого подхода делают его привлекательным при проведении анализа затрат в течение жизненного цикла изделий (Life-Cycle Cost Analysis), который уже стал одним из важнейших компонентов разработки сложной техники (Marx et al., 1995; Thokala et al., 2010).

Исследование рынка авиапассажироперевозок США проводится на основе агрегированной динамической модели рационального поведения участников олигополии в виде линейной динамической игры по Нэшу, в которой участвуют 7 крупнейших авиакомпаний, осуществляющих около 80% пассажирооборота страны, и остальные фирмы, являющиеся ценополучателями (Варшавский, 2004, 2008). С использованием разработанной эконометрической модели построены сценарии изменения ключевых показателей рынка (рыночной структуры, пассажирооборота, самолетного парка), а также оценены масштабы влияния цен на топливо на развитие рынка. Практическая ценность применяемого игрового подхода состоит еще и в том, что он позволяет исследовать в динамике процессы вытеснения и вхождения на рынок, а также влияние возможных структурных изменений (например, слияние компаний) на показатели рынка. Кроме того, в статье рассматривается метод расчета цен, предельно допустимых для выхода отдельных компаний на рынок (так называемых лимитирующих цен), которые служат надежным индикатором возможных структурных изменений в олигополии.

Модель рынка производителей гражданской авиационной техники базируется на предложенной автором линейной динамической модели обучения в процессе производства с учетом эффекта «забывания», который не удается отразить с помощью широко используемых статических нелинейных кривых обучения. Построенная модель применялась при исследовании равновесия по Нэшу-Курно на рынке гражданских магистральных самолетов, который в настоящее время фактически представляет собой дуополию. Предлагаемый в данной работе подход к учету обучения в процессе производства позволяет существенно упростить расчеты и создает надежную основу для формирования сценариев развития рынка гражданской авиационной техники.

Важным преимуществом рассматриваемого в статье игрового подхода является то, что он дает возможность сформировать требования к технико-экономическим показателям выводимой на рынок новой техники, которая может считаться «прорывной». Эта задача весьма актуальна для отечественных производителей высокотехнологичной продукции, стремящихся утвердиться на глобализированных рынках. Так, одна из главных задач, стоящих перед Объединенной авиастроительной корпорацией — «...достижение 10% доли мирового рынка в гражданской авиации и более 50% внутреннего рынка в 2025 году» (<http://www.uacrussia.ru/corporation/strategy/>). В связи с этим, в статье на основе агрегированной динамической модели рационального поведения олигополистов-потребителей исследуется влияние технико-экономических показателей новой техники, выводимой на рынки высокотехнологичной продукции, на изменение рыночной структуры (на примере рынка узкофюзеляжных магистральных самолетов).

## 2. Моделирование развития рынка потребителей продукции с длительным жизненным циклом (на примере рынка пассажирских авиаперевозок США)

Ряд общих проблем, стоящих перед российскими и зарубежными потребителями высокотехнологичной продукции с длительным жизненным циклом, обуславливает интерес к исследованию перспектив развития родственных отраслей высокоразвитых зарубежных стран. Такой анализ тем более актуален, что некоторые отечественные компании превратились в участников международных альянсов и мировых рынков (например, авиакомпания «Аэрофлот», вошедшая в альянс Sky Team). Особый интерес представляет рынок пассажирских авиаперевозок США, располагающий наиболее развитым воздушным транспортом.

Целесообразность рассмотрения американского рынка обусловлена тем, что на него приходится примерно треть мировых пассажирских авиаперевозок. По данным International Air Transport Association (IATA Annual Report, 2009) 6 авиакомпаний США, входивших в 10 крупнейших авиакомпаний мира, обеспечивали свыше 23% воздушных перевозок в мире. Процессы, происходящие на этом наиболее крупном и развитом рынке, во многом определяют перспективное развитие всего мирового рынка авиапассажироперевозок, либерализация которого уже начинается, а также будущее предложение и возможное изменение стандартов со стороны производителей авиационной техники.

С другой стороны, несмотря на существенную разницу в масштабах авиаперевозок в России и в США, имеет место высокий уровень концентрации производства в небольшом числе авиакомпаний (Гражданская авиация в России, 2007) (рис. 1, 2). Так, в нашей стране в 2006 г. доля 8 крупнейших пассажирских авиакомпаний превысила 2/3 (Российский статистический ежегодник, 2006, с. 493). Вместе с тем, на рынке пассажироперевозок еще остается большое количество мелких компаний, находящихся на грани разорения и эксплуатирующих устаревшую технику отечественного производства или старые самолеты иностранного производства, приобретенные в лизинг по «сходной» цене.

Процессы объединения и поглощения авиакомпаний характерны и для США. Однако в этой стране, несмотря на происходящие процессы слияния и поглощения, доля крупных авиакомпаний в пассажирских перевозках уменьшалась под влиянием конкуренции со стороны низкокзатратных перевозчиков.

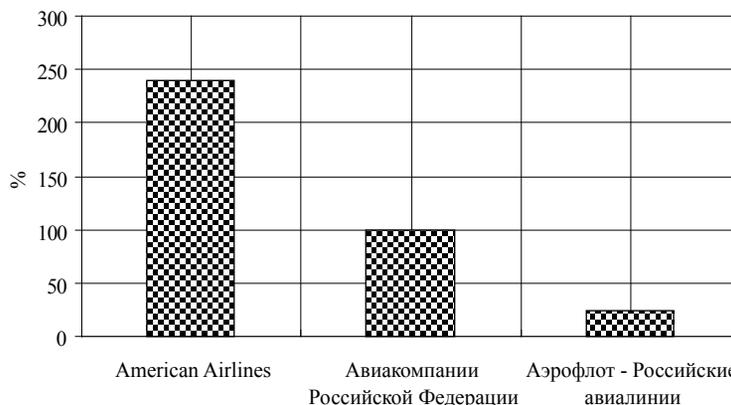


Рис. 1. Пассажирооборот крупнейших авиакомпаний России и США (пассажирооборот авиакомпаний РФ принят за 100%)

Методологические основы моделирования развития олигополистических рынков продукции с длительным жизненным циклом...

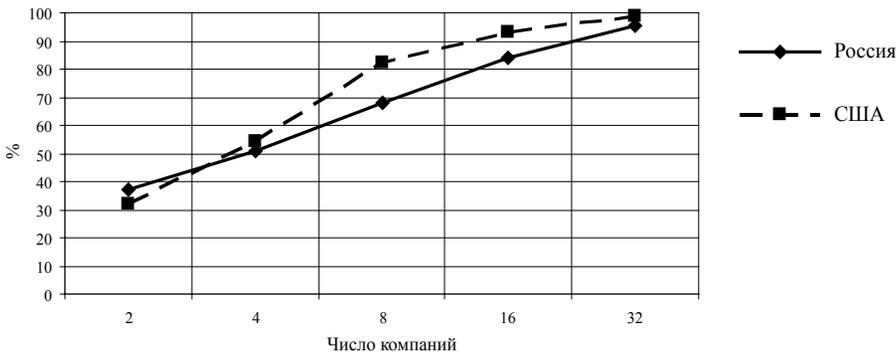


Рис. 2. Доля крупнейших авиакомпаний России и США в пассажирообороте

Наряду с внутренними факторами, обусловленными действием конкурентных сил, на рыночные процессы в отраслях-потребителях высокотехнологичной продукции оказывают влияние и внешние факторы. Их воздействие на гражданскую авиацию США особенно усилились в результате финансового кризиса 2000–2002 гг. и спада спроса под влиянием событий 11 сентября 2001 г., распространения тяжелых заболеваний из стран Юго-Восточной Азии в 2003–2004 гг., а также в результате текущего финансово-экономического кризиса. Существенный экономический фактор, влияющий на показатели рынка авиапассажироперевозок в последние годы (начиная с 2004 г.), связан со стремительным ростом цен на нефть и, соответственно, на реактивное топливо и авиационный бензин. В настоящее время затраты на авиационное топливо — доминирующая статья операционных затрат как в США, так и в России. Но если в США их доля (июнь 2010 г.) составляет 20–30%, то в российских авиакомпаниях на них приходится приблизительно 50% операционных издержек (Попова, 2008).

Важной особенностью отрасли является ее невысокая рентабельность (обычно в лучшие годы размер чистой прибыли составляет 2–3% от выручки), что в сочетании с другими уже отмеченными специфическими факторами делает ее весьма чувствительной к внешним возмущениям. Поэтому прогнозы развития рынка пассажирских авиаперевозок отличаются низкой степенью точности, см. рисунок 3.

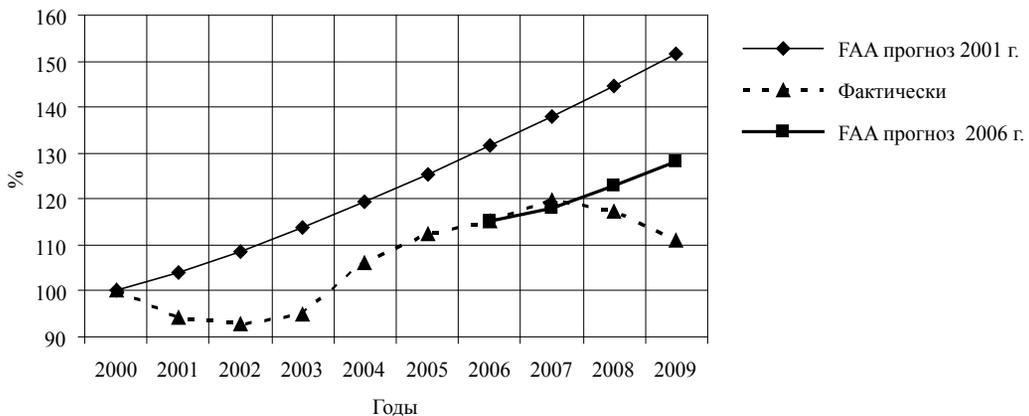


Рис. 3. Прогнозы объемов пассажирооборота в гражданской авиации США, выполненные Федеральным агентством по авиации США (FAA) в 2001 и 2006 гг. (<http://www.faa.gov/>), и фактические уровни пассажирооборота (2000 г. = 100%)

В связи с этим, разрабатываемые модели развития изучаемого рынка могут служить лишь для выявления принципиальных изменений на рынке при изменении характера действия тех или иных факторов. С этой целью автором построена модель развития рынка авиапассажироперевозок США, рассматриваемая ниже, которая может быть использована при проведении имитационных расчетов, в частности, для построения сценариев изменения ключевых показателей рынка (рыночной структуры, пассажирооборота, самолетного парка), для оценки масштабов влияния цен на топливо на развитие рынка, а также для оценки экономической эффективности эксплуатации новой техники.

### 2.1. Краткая характеристика используемой модели

Проводимый в настоящей статье анализ основан на использовании агрегированной динамической модели рационального поведения участников олигополии в виде линейной динамической игры по Нэшу с квадратичным критерием, в которой участвуют  $N$  фирм-олигополистов и фирмы-ценополучатели (Варшавский, 2004, 2008).

Центральным блоком модели является следующая зависимость, связывающая объемы производства  $Q_{it}$  со входной переменной  $u_{it}$  (вводом мощностей),  $i$  — индекс фирмы,  $i = 1, 2, \dots, N$  :

$$Q_{it} = W_i(z) u_{it} = \frac{B_i(z)}{A_i(z)} u_{it}, \tag{1}$$

где  $W_i(z) = B_i(z) / A_i(z)$  — передаточная функция, причем  $A_i(z)$ ,  $B_i(z)$  — полиномы относительно переменной  $z$ , представляющей собой оператор сдвига:  $zx_t = x_{t+1}$  :

$$A_i(z) = \sum_{k=0}^n a_{ik} z^k, \quad B_i(z) = \sum_{j=0}^m b_{ij} z^j, \quad m \leq n. \tag{2}$$

Другой блок модели — обратная функция (оператор) спроса. В модели предполагается баланс суммарного спроса  $D_t$  и предложения  $Q_t$ , т.е.  $D_t = Q_t = \sum_{i=1}^N Q_{it} + Q_{Ft}$  и линейная зависимость цены на рынке  $p_t$  от объема спроса:

$$p_t = a - bD_t + d\xi_t = a - bQ_t + d\xi_t, \tag{3}$$

где  $\xi_t$  — экзогенная переменная (например, темп прироста ВВП),  $Q_{Ft}$  — суммарный объем производства малых компаний-ценополучателей,  $a, b, d$  — параметры.

Предполагается, что олигополисты используют скользящее планирование и в каждый момент времени  $\tau$  максимизируют чистую текущую стоимость (NPV):

$$J_{\tau i} = \sum_{t=\tau}^{\tau+Tp} \beta^t [(p_t - c_i)Q_{it} - q_i u_{it} - \frac{1}{2} \rho_i u_{it}^2] \rightarrow \max_{u_{it}}, \tag{4}$$

где  $\beta = 1 / (1 + r)$  — дисконтирующий множитель, соответствующий ставке дисконтирования  $r$ ;  $p_t$  — цена продукции;  $c_i$  — средние производственные издержки (без амортиза-

ции);  $q_i$  — стоимость единицы мощностей;  $\frac{1}{2} \rho_i u_{ii}^2$  — затраты регулирования (adjustment costs) (см., например, (Варшавский, 2003, 2004; Gordon, 1992)), причем  $\rho_i$  — коэффициент, характеризующий инвестиционные возможности олигополистов,  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $T_p$  — период скользящего планирования (для упрощения расчетов ставки налогов приняты равными нулю). Управляющими переменными в модели являются вводы мощностей  $u_{ii}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ .

Из необходимого условия экстремума функционала (4) при  $T_p \rightarrow \infty$  можно получить выражения для определения оптимальных по Нэшу разомкнутых (open-loop) стратегий (Варшавский, 2004):

$$u_{ii} = \frac{W_i((\beta z)^{-1})(p_i - c_i - bQ_{0ii}) - q_i}{\rho_i + bW_i(z)W_i((\beta z)^{-1})}, \quad (5)$$

где цена  $p_i$  зависит от стратегий других участников рынка,  $Q_{0ii}$  — объем производства при отсутствии инвестиций (Варшавский, 2004),  $i = 1, 2, \dots, N$ . Полученное соотношение полезно при проведении эконометрического анализа влияния цены на динамику ввода мощностей (капитальных вложений).

Важно отметить, что из соотношения (5) при  $T_p \rightarrow \infty$  можно получить формулу для вычисления величин предельно допустимых цен для выхода компаний на рынок  $p_{Li}$  (так называемых лимитирующих цен (Шерер, Росс, 1997)):

$$p_{Li} = c_i + \frac{q_i}{W_i(1+r_i)}, \quad (6)$$

где  $W_i(1+r_i)$  — функция аргумента  $(1+r_i)$ . По сути оценки (6) представляют собой обобщение формулы приведенных затрат, широко использовавшейся в плановой практике в СССР.

Конкретный вид наиболее часто используемых в прикладных исследованиях распределенных запаздываний (1) и соответствующие им формулы для определения лимитирующих цен представлены в таблице 1. Для их расчета необходимо предварительно определить передаточную функцию  $W_i(z)$ , связывающую объемы производства  $Q_{ii}$  с входной переменной  $u_{ii}$  (вводом мощностей). Эта связь может быть идентифицирована с использованием стандартных процедур анализа временных рядов (Айвазян, 2010; Greene, 2002, ch. 20).

Отметим, что формула расчета лимитирующей цены для модели освоения мощностей с продолжительностью освоения до 1 года (см. табл. 1) при  $k_0 = 0$  совпадает с формулой приведенных затрат, широко применявшейся при оценке эффективности капитальных вложений (Хачатуров, 1976):

$$p_L = c + \frac{q}{W(1+r)} = c + r q. \quad (6a)$$

Очевидно, компании, имеющей при прочих равных условиях (например, при  $\rho_i = \rho$ ,  $W_i(z) = W(z)$ ) наименьшую величину затрат  $p_{Li}$ , в установившемся режиме должна соответствовать наибольшая доля на рынке. Как показывает практика, оценки (6) полезны

при предварительном экономическом анализе поведения компаний на рынке также и в случае конечного периода скользящего планирования  $T_p$ , причем не только для разомкнутых (open-loop), но и для замкнутых (Markov perfect) стратегий (Варшавский, 2008) (см. также п. 4).

**Таблица 1.** Формулы расчета предельно лимитирующих цен для типовых моделей динамики производства (Варшавский, 2003)

Процессы, описываемые моделью с передаточной функцией $W(z)$	Передаточная функция $W(z)$	Лимитирующая цена $p_L$
Освоение мощностей с нормативной продолжительностью освоения до 1 года	$(k_0 z + 1 - k_0) / (z - 1)$	$c + qr / (1 + rk)^*$
Динамика производительности вводимых мощностей (геометрически распределенное запаздывание)	$(1 - \lambda)z / (z - \lambda), \quad 0 < \lambda < 1$	$c + q(\delta + r) / (\delta(1 + r)),$ где $\delta = 1 - \lambda$
Динамика производительности мощностей (распределенное запаздывание Паскаля 2-го порядка)	$(1 - \lambda)^2 z^2 / (z - \lambda)^2, \quad 0 < \lambda < 1$	$c + q[(\delta + r) / (\delta(1 + r))]^2,$ где $\delta = 1 - \lambda$
Динамика производительности мощностей (модель общего рационального лага)	$B(z) / A(z),$ $B(z)$ и $A(z)$ — многочлены переменной $z$	$c + q[A(1 + r) / B(1 + r)]$

\*  $q$  — удельные производственные инвестиции на единицу вводимой мощности.

## 2.2. Анализ влияния структуры рынка и цен на авиационное топливо на динамику рыночных показателей

На основе эконометрической модели, построенной автором по годовым данным за 1992–2007 гг. и являющейся частным видом предложенной модели (1)–(4), исследовалось влияние структуры рынка и цен на авиационное топливо на динамику стоимости и объема пассажирооборота, а также потребность в парке самолетов для 7 крупнейших авиакомпаний США: AA, CO, DL, NW, WN, UA, US<sup>1</sup> (Варшавский, 2007). Используемые исходные данные охватывают такие показатели, как объемы пассажирооборота в пассажиро-милях, самолетный парк с разбивкой по отдельным моделям, доходы и средние операционные затраты авиакомпаний в расчете на одну пассажиро-милю, летно-технические характеристики и стоимость отдельных моделей самолетов, долю самолетов, приобретаемых по лизингу, удельный расход и стоимость авиационного топлива; источниками информации служили годовые отчеты авиакомпаний и материалы, содержащиеся на сайте <http://www.faa.gov/>. В соотношении (1) разработанной модели  $Q_{it}$  представляет собой объем пассажирооборота, а входная переменная  $u_{it}$  — прирост числа самолетов, приведенного по потенциально возможному объему пассажирооборота к усредненной модели самолета Boeing-737 (приведение осуществлялось в соответствии с методикой, аналогичной использовавшейся в работе

<sup>1</sup> Даны сокращенные названия авиакомпаний США; компания WN является крупнейшей авиакомпанией-дискаунтером, обслуживающей внутренний рынок пассажироперевозок США.

(Варшавский, 1986)). Построенные на основе данных за 1992–2007 гг. передаточные функции для крупнейших авиакомпаний США имеют вид:

$$W_i(z) = \frac{\mu_i z^2}{(z-1)(z-\lambda_i)}, \quad i=1,2,\dots,7, \quad (1a)$$

причем найденные в соответствии с нелинейным методом наименьших квадратов значения параметров  $\lambda_i$  лежат в диапазоне 0.40–0.76, а параметров  $\mu_i$  — 0.025–0.079. Значения коэффициентов вариации для полученных соотношений составляют 0.014–0.081, что свидетельствует об удовлетворительном качестве идентификации.

В линейной обратной функции спроса (3) в качестве цены  $p_t$  выступает средняя выручка в расчете на одну пассажиро-милю (многочисленные вычисления автора показывают, что величины этого показателя для 7 крупнейших авиакомпаний практически совпадают),  $Q_t$  — суммарный объем пассажирооборота малых авиакомпаний, а в качестве  $\xi_t$  — фиктивная (dummy) переменная. Построенная по данным за 1992–2007 гг. регрессионная зависимость цены  $p_t$  (в центах на пассажиро-милю) от пассажирооборота (в млрд пассажиро-миль) имеет следующий вид:

$$p_t = 17.091 - 0.005Q_t + 2.114\xi_t, \quad R^2 = 0.952 \quad (3a)$$

(среднеквадратические отклонения оценок параметров составляют соответственно 0.895, 0.002 и 0.269).

Под  $q_t$  в (4) следует понимать усредненную стоимость приобретаемого авиакомпанией нового самолета (обычно затраты на приобретение самолетов составляют большую часть капитальных вложений, осуществляемых авиакомпаниями).

В ходе исследования использовались оптимальные по Нэшу замкнутые (Markov perfect) стратегии. Их определение проводилось с помощью компьютерного моделирования, включавшего в себя в качестве одного из этапов решение матричных уравнений, в том числе расширенных уравнений типа Риккати (см., например, (Basar, Olsder, 1995)).

**Влияние стоимости топлива на показатели транспорта.** Как показывают проведенные в 2007 г. расчеты на основе модели вида (1)–(4) с зависимостями (1a), (3a), при сохранении цен на сырую нефть и авиационный керосин  $P_f$  на уровне 2006 г. (соответственно 70–80 долл./баррель и около 200 центов/галлон реактивного топлива<sup>2</sup>) и сложившихся к началу 2007 г. тарифов на авиабилеты, авиакомпаниям не выгодно увеличивать парк самолетов, а после 2011–2012 гг. — наращивать объемы пассажирооборота (Варшавский, 2007, 2008). Лишь при ощутимом сдвиге вправо кривой обратного спроса, описываемой уравнением (3), т. е. при увеличении величины параметра  $a$  в (3), и снижении цены на топливо до уровня 2003 г. у крупнейших компаний могут появиться стимулы повышать эти показатели.

Интересно отметить, что рассчитанные по модели объемы пассажирооборота на 2008–2009 гг. при сценарии сохранения цены на авиатопливо  $P_f$  на уровне 2006 г. оказались ближе к фактическим данным, чем прогнозы Федерального агентства по авиации США (<http://www.faa.gov/>) — см. рисунки 4, 5. Несколько более высокий рост фактического объ-

<sup>2</sup> Эти уровни цен практически не отличаются от уровней, сложившихся к настоящему времени (июнь 2010 г.)

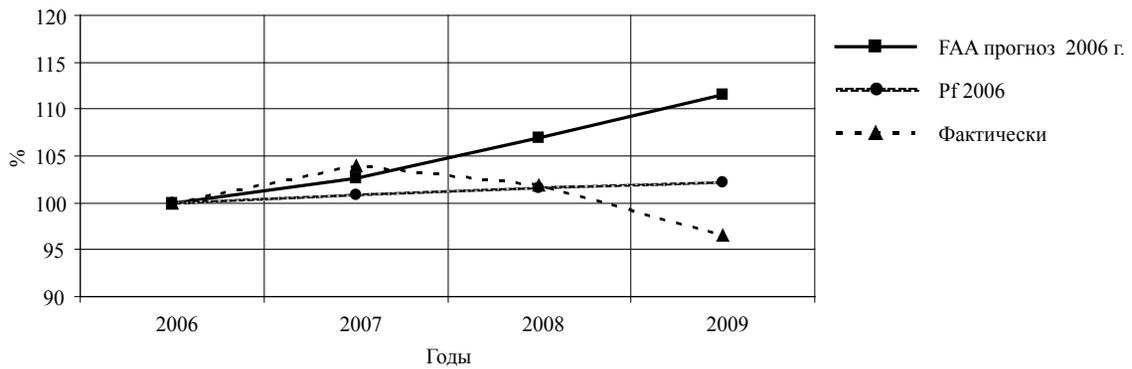


Рис. 4. Прогнозная (FAA), расчетная (Pf 2006) и фактическая динамика пассажирооборота в воздушном транспорте США (2006 г. =100%)

ема пассажирооборота в 2007 г. (по сравнению с расчетами по модели), возможно, связан с трудностями предвидения эффектов от хеджирования затрат на топливо в отдельных компаниях (Варшавский, 2009b).

Справедливость полученных оценок подтверждается, в частности, устойчивым уменьшением суммарного парка самолетов в 7 рассматриваемых крупных компаниях в 2007–2009 гг. (рис. 5).

**Влияние слияния компаний на рыночную структуру.** Недостаточная конкурентоспособность ряда крупнейших американских авиакомпаний заставляет их инициировать проекты слияния и поглощения. Так, во второй половине 2007 г. высшим менеджментом компаний рассматривались проекты слияния CO, NW, UA в одну компанию, а компаний DL и US — в другую. В 2008 г. произошло объединение компаний DL и NW. В настоящее время (июнь 2010 г.) на повестке дня стоит слияние компаний UA и CO.

Как показывают расчеты на основе построенной модели (1)–(4), уменьшение числа компаний до 4 за счет слияния CO, NW, UA в одну компанию, а в другую — компаний DL и US, могло бы привести к некоторому снижению рыночной доли объединения из двух старых (AA, WN) и двух новых компаний. Однако в этом случае крупнейшие авиакомпания

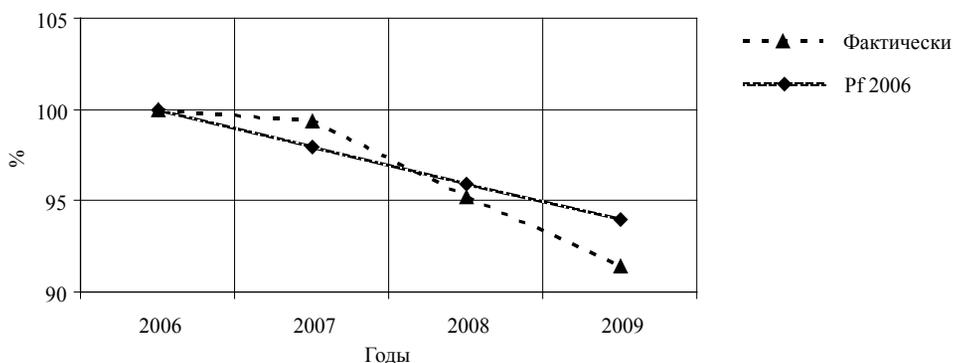


Рис. 5. Фактическая и расчетная динамика парка пассажирских самолетов 7 крупнейших авиакомпаний США при сценарии сохранения цены на топливо на уровне 2006 г. (2006 г. =100%)

нии могли бы быть заинтересованы в росте парка самолетов при снижении цен на топливо в 1.8–2 раза или при увеличении средних тарифов на пассажироперевозки в среднем на 30% относительно уровня 2006 г. (Варшавский, 2008).

### 3. Моделирование развития рынка производителей продукции с длительным жизненным циклом (на примере рынка магистральных самолетов)

#### 3.1. Необходимость учета процессов «обучения» и «забывания»

Одна из основных предпосылок успешного развития высокотехнологичных компаний состоит в создании условий для обучения кадров в процессе производства (*learning by doing*). По-видимому, впервые систематическое исследование этого эффекта было проведено в 1936 г. в статье (Wright, 1936), где было установлено, что трудоемкость изготовления планеров самолетов уменьшается с увеличением числа производимых планеров. Для анализа изменения трудоемкости в этой работе была предложена степенная зависимость. Методика учета процесса обучения кадров, основанная на применении степенных зависимостей, нашла широкое применение при определении затрат в отраслях с длительным жизненным циклом продукции, в особенности в авиационной промышленности (см., например, (Левенсон, Барро, 1974; Уаттс, 1975; Alchian, 1963)).

В дальнейшем была отмечена необходимость учета возможной утраты накопленного в процессе производства опыта. Так, в (Argote, Epple, 1990) рассмотрен эффект так называемого организационного «забывания» (*organizational forgetting*). В качестве одного из примеров этого явления рассмотрено производство широкофюзеляжного самолета L-1011 (или Tri-Star) компании Lockheed, который выпускался с начала 1970-х до середины 1980-х гг. Резкое снижение выпуска этой модели в 1976–1978 гг. привело к «забыванию» накопленных навыков, следствием чего явилось увеличение затрат на производство самолетов не менее, чем в 1.5 раза после восстановления масштабов производства в начале 1980-х гг.

Впоследствии в работе (Bencard, 2000) была предпринята попытка моделирования процессов обучения и забывания в производстве авиатехники с помощью нелинейных зависимостей трудозатрат от кумулятивного выпуска продукции. Однако использование нелинейных связей значительно усложняет расчеты оптимальных стратегий на олигополистических рынках высокотехнологичной продукции. Необходимость адекватного отражения процесса «забывания» заставляет искать новые подходы к описанию динамики процессов обучения.

В настоящей работе построена линейная динамическая модель обучения в процессе производства с учетом эффекта «забывания» опыта применительно к производству магистральных самолетов в компаниях Boeing и Airbus. Использование подобных моделей позволяет существенно упростить расчеты по оптимизации развития компаний с длительным жизненным циклом продукции на олигополистических рынках. Это упрощение состоит в возможности использования статических моделей при исследовании взаимодействия между участниками рынка на основе широко распространенных подходов типа Нэша-Курно, Штакельберга, Форхаймера и др. (Шерер, Росс, 1997).

### 3.2. Линейная динамическая модель обучения в процессе производства с учетом эффекта «забывания»

Суть подхода состоит в моделировании затрат  $C_t$  на производство продукции  $Q_t$  с помощью не статической, а динамической связи (Варшавский, 2009а):

$$C_t = C_0 Q_t - E_t = C_0 Q_t - A Q_t, \quad (9)$$

где:  $C_0$  — величина первоначальных удельных затрат на производство продукции (или удельных затрат на начало базового периода);  $A$  — оператор, характеризующий связь между величиной экономии затрат в процессе обучения  $E_t$  и объемами производства в текущий и предыдущие моменты времени. Одной из наиболее адекватных форм зависимости между этими показателями являются линейные распределенные запаздывания в виде модели общего рационального лага, которая может быть представлена в операторной форме следующим образом (Варшавский, 2009а):

$$E_t = W^*(z) Q_t = [B^*(z) / A^*(z)] Q_t, \quad (10)$$

где:  $W^*(z) = B^*(z) / A^*(z)$  — передаточная функция, соответствующая распределенному запаздыванию с весовой функцией, являющейся монотонно убывающей функцией времени;  $A^*(z)$ ,  $B^*(z)$  — полиномы относительно переменной  $z$ , представляющей собой оператор сдвига, т.е.  $zx_t = x_{t+1}$ ;  $A^*(z)$  — полином с положительными корнями, меньшими 1. Указанные распределенные запаздывания (и соответствующие им разностные уравнения) позволяют отразить инерционность процессов обучения и «забывания».

Обычно при идентификации связи между величиной экономии затрат в процессе обучения  $E_t$  и объемами производства достаточно использовать многочлены  $A^*(z)$ ,  $B^*(z)$  невысокого порядка относительно  $z$  (не выше 2).

Рассмотренный выше подход использовался при построении линейной динамической модели обучения в процессе производства с учетом эффекта «забывания» опыта применительно к производству магистральных самолетов в компаниях Boeing и Airbus. Для этих компаний по данным годовых отчетов за 1995–2007 гг., содержащихся на сайтах <http://www.boeing.com/> и <http://www.airbus.com/>, удалось построить модель (9)–(10) с передаточной функцией  $W^*(z) = (b_{0i}z + b_{1i}) / (z - \lambda_i)$ ,  $i = 1, 2$  (в расчетах использовались такие показатели, как объемы поставок самолетов, объемы операционных затрат в млн долл.; величина экономии затрат в процессе обучения  $E_t$  рассчитывалась относительно среднего уровня затрат на один самолет в 1997 г.). Возможность получения объективной картины на основе информации за рассматриваемый период связана с относительно стабильной структурой выпуска самолетов в обеих компаниях, начиная со второй половины 1990-х гг. (в этот период было налажено производство узкофюзеляжных самолетов Boeing-737 Next-Generation, A318–321, а также широкофюзеляжного Boeing-777; доля узкофюзеляжных самолетов в общем их выпуске составляла от 60% до 78%). Значения параметра  $\lambda_i$  составляют 0.72 для компании Boeing и 0.59 для компании Airbus. Иными словами, при постоянном выпуске величина годовой экономии затрат стабилизируется на постоянном уровне через 9 и 6 лет соответственно.

На рисунке 6 представлены кривые, характеризующие соответствие фактической  $E_a$  и расчетной экономии  $E_{est}$  производственных затрат в компании Boeing, полученной на основе построенной модели (9)–(10) (значительное отклонение кривых в 2003 г. связано со спадом производства после событий 11 сентября 2001 г. из-за резкого снижения объема авиаперевозок).

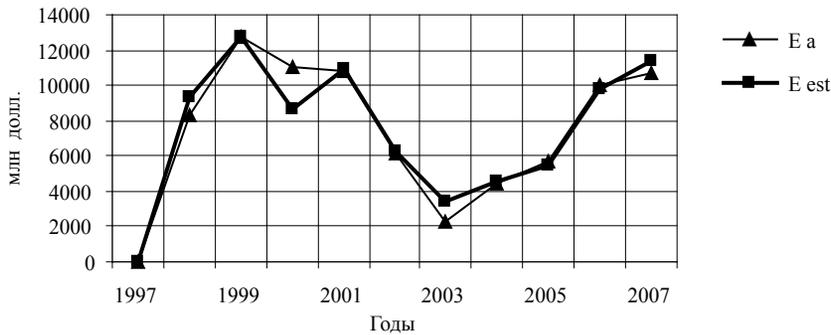


Рис. 6. Фактическая ( $E_a$ ) и расчетная ( $E_{est}$ ) экономия производственных затрат в компании Boeing

### 3.3. Методы оценки уровней цен и выпуска продукции с длительным жизненным циклом

Использование соотношений (9)–(10) обеспечивает удобства при проведении расчетов, особенно заметные при исследовании перспектив развития некапиталоемких компаний, выпускающих продукцию с длительным жизненным циклом. Действительно, пусть компания  $i$  придерживается критерия максимума чистой текущей стоимости (NPV). Тогда справедливы следующие равенства (Варшавский, 2003, с. 329):

$$J_i = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t [P_i(Q_{it}, Q_{-it}) Q_{it} - (C_{i0} Q_{it} - E_{it})] - D_i = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t [P_i(Q_{it}, Q_{-it}) - (C_{i0} - W_i^*(1+r))] Q_{it} - D_i, \quad (11)$$

где  $\beta = 1 / (1+r)$  — дисконтирующий множитель;  $r$  — ставка дисконта;  $P_i(Q_{it}, Q_{-it})$  — обратная функция спроса на продукцию компании  $i$ ;  $Q_{-it}$  — объемы производства в других компаниях, участниках олигополии;  $W_i^*(1+r)$  — значение  $W_i^*(z)$  при  $z = (1+r)$ , представляющее собой удельную экономию от обучения;  $D_i$  — суммарные затраты на разработку и капитальные расходы на подготовку производства продукции,  $i = 1, 2, \dots, N^*$ ,  $N^*$  — число участников олигополии.

Таким образом, при известных обратных функциях спроса оптимальные объемы продукции можно определить, максимизируя по  $Q_{it}$  выражение под знаком суммы (11):

$$[P_i(Q_{it}, Q_{-it}) - (C_{i0} - W_i^*(1+r))] Q_{it} \rightarrow \max_{Q_{it}}, \quad (12)$$

$i = 1, 2, \dots, N^*$ . Очевидно, что оптимальное значение  $Q_{it}^* = Q_i^* = const$ . Оно удовлетворяет следующему необходимому условию оптимальности:

$$Q_{it}^* = [P_i(Q_{it}, Q_{-it}) - (C_{i0} - W_i^*(1+r))] / (-\partial P_i / \partial Q_{it}) \Big|_{Q_{it}=Q_{it}^*} \quad (13)$$

В частности, если рынок производителей техники представляет собой дуополию, а обратные функции спроса линейны относительно объемов производства:

$$P_1 = a_1 - b_{11}Q_1 - b_{12}Q_2, \quad (14a)$$

$$P_2 = a_2 - b_{21}Q_1 - b_{22}Q_2, \quad (14б)$$

где  $a_i, b_{ij}$  — коэффициенты,  $P_i, Q_i$  — соответственно цена на продукцию и объем продукции компании  $i = 1, 2$ , то решение задачи (12) имеет следующий вид:

$$\begin{pmatrix} Q_1^* \\ Q_2^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & 2b_{22} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} a_1 - C_{10} + W_1^*(1+r) \\ a_2 - C_{20} + W_2^*(1+r) \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Модель (9)–(12), (14a), (14б), (15) использовалась при исследовании равновесия по Нэшу-Курно на рынке гражданских магистральных самолетов, который в настоящее время фактически представляет собой дуополию. Для проведения расчетов были построены регрессионные зависимости, соответствующие соотношениям (14a) и (14б), оценки параметров которых приведены в таблице 2 (в скобках указаны значения их среднеквадратических отклонений).

**Таблица 2.** Оценки параметров обратных функций спроса (14a) и (14б)

$i$	Период оценивания	$a_i$	$b_{i1}$	$b_{i2}$	$R^2$
1 (Boeing)	1997–2007	95.82	0.0277	0.0545	0.805
		(5.34)	(0.0122)	(0.0069)	
2 (Airbus)	1990–2007	91.95	0.0398	0.0398	0.653
		(5.0040)	(0.0073)	(0.0073)	

В результате для рассматривавшейся дуополии получено, что оптимальный выпуск самолетов со структурой производства, сложившейся к концу 1990-х гг., для компании Boeing составляет 407 самолетов, а для Airbus — 371. Эти объемы, полученные на основе достаточно простой модели, близки к фактическим среднегодовым объемам производства самолетов в рассматриваемых компаниях в 2000–2007 гг. (387 в компании Boeing и 354 в Airbus), что свидетельствует о возможности использования предложенного подхода для формирования сценариев развития рынка гражданской авиационной техники (Варшавский, 2009а).

Однако, часто априори неизвестны ни вид функций спроса на разрабатываемую новую технику  $P_i(Q_{it}, Q_{-it})$ , ни значения их параметров. Кроме того, при найденных из (15) объемах производства  $Q_{it}^*$ , могут не покрываться расходы на разработку и капитальные расходы на подготовку производства продукции  $D_i$ . Поэтому цену на продукцию целесообразно определять из условия окупаемости всех затрат. Из (11) нетрудно показать, что при посто-

Методологические основы моделирования развития олигополистических рынков продукции с длительным жизненным циклом...

яном во времени выпуске продукции, т. е. при  $Q_{it}^* = Q_i^* = const$ , величина цены для новой продукции должна удовлетворять неравенству:

$$P_i \geq (1+m)\{C_{i0} - W_i^*(1+r) + [r/(1+r)](D_i / Q_i^*)\}, \quad (16)$$

где  $m$  — коэффициент рентабельности (margin).

С другой стороны, цена на новую технику должна обеспечивать потребителю существенный эффект, который пропорционален разнице между ожидаемой ценой производимой им продукции  $p$  и его лимитирующей ценой  $p_{Li}$ . Учитывая, что лимитирующая цена на новую технику не должна превосходить рыночную, а также то, что цена новой техники  $P$  в (16) — это то же самое, что и  $q$  в (4) (в дальнейшем индекс  $i$  при переменных будет опущен), из (6) нетрудно получить верхнее ограничение на  $P$ :

$$P \leq (p - c)W(1+r). \quad (17)$$

Из (16) и (17) можно определить нижнюю границу годового выпуска новой техники, при которой достигается приемлемый эффект у потребителя и окупаемость у производителя с коэффициентом рентабельности  $m$ :

$$Q^* \geq \left( \frac{r}{1+r} \right) \frac{(1+m)D}{(p-c)W(1+r) - (1+m)[C_0 - W^*(1+r)]}. \quad (18)$$

В знаменателе правой части (18) первый член представляет собой суммарную ожидаемую прибыль потребителя за все время эксплуатации единицы новой техники, а второй член — средние удельные операционные затраты производителя за весь период выпуска изделия, увеличенные в  $(1+m)$  раз. Очевидно, чем меньше разность этих членов, тем больший объем выпуска новой техники необходим для компенсации первоначальных затрат производителя  $D_i$  и обеспечения рентабельности как потребителя, так и производителя.

Рассмотрим числовой пример. Пусть величины дисконт-фактора и коэффициента рентабельности равны и составляют  $r = m = 0.05$ , первоначальные затраты производителя на разработку самолета  $D = 5$  млрд долл., первоначальные производственные затраты  $C_0 = 80$  млн долл., а средние удельные производственные затраты за весь период выпуска изделия  $C_0 - W^*(1+r) = 49$  млн долл. Пусть минимальная цена, при которой обеспечивается безубыточная работа авиакомпания, составляет 10 центов за пассажиро-милю, а себестоимость пассажирооборота — 8.35 центов за пассажиро-милю. Если дисконтированный объем пассажирооборота за все время службы самолета  $W(1+r)$  составляет 3.3 млрд пассажиро-миль, то, в соответствии с (18), минимальный годовой выпуск самолетов должен составить 83 единицы. При этом цена одного изделия должна находиться в диапазоне 51.6–54.6 млн долл.

Данный пример иллюстрирует тот факт, что производитель при действии эффекта обучения в процессе производства может поддерживать текущую цену на уровне, меньшем величины текущих средних затрат на производство, которая находится в промежутке между  $C_0 - W^*(1+r)$  и  $C_0$ . По этой причине компании, испытывающие превышение издержек над доходами, но рассчитывающие на получение в будущем экономии от обучения, не спешат

уходить с рынка продукции с длительным жизненным циклом (наглядное свидетельство тому — производство широкофюзеляжного самолета L-1011 компании Lockheed до 1985 г.).

Вместе с тем, приведенный пример показывает, что ключевым фактором успеха компании-авиастроителя является достаточно высокий спрос на продукцию. Поэтому производителям высокотехнологичной продукции необходимо проводить углубленные исследования рынков потребителей. Основой для таких исследований может служить подход, рассмотренный в п. 2 и использованный в следующем разделе.

#### **4. Анализ влияния технико-экономических показателей выводимой на рынок новой техники на изменение структуры рынков высокотехнологичной продукции (на примере рынка узкофюзеляжных магистральных самолетов)**

Как показывает анализ, если не произойдет изменений в объемах и структуре выпуска моделей самолетов, производимых в рассматриваемых компаниях достаточно длительное время, то в сегменте узкофюзеляжных магистральных самолетов уже в ближайшие годы появятся новые участники. Так, в соответствии с оценками компании Boeing потребность в узкофюзеляжных магистральных самолетах в 2009–2028 гг. может составить приблизительно 19 тыс. единиц. Если нынешние дуополисты, Boeing и Airbus, не будут наращивать объемы выпуска таких самолетов и переключат новые мощности на выпуск широкофюзеляжных средне- и дальнемагистральных самолетов (Boeing-787, A-380, A-350), то по нашим приближенным оценкам на рынке после выхода мировой экономики из экономического кризиса в среднесрочной перспективе может образоваться ниша по крайней мере в 200–300 узкофюзеляжных магистральных самолетов в год. Эту нишу уже сейчас стремятся заполнить как известные авиастроительные компании, производящие региональные самолеты (Bombardier, Embraer), так и новые авиапроизводители (из Китая).

Перспективы развития рынка узкофюзеляжных магистральных самолетов представляют значительный интерес для отечественных производителей авиационной техники, т. к. проектируемый ближне- и среднемагистральный самолет МС-21 принадлежит к тому же сегменту рынка, что и Boeing-737 Next-Generation (серии 700–900) и A318–321. Более того, проект этого самолета признан в ряде документов «прорывным». Поэтому актуальным является исследование того, какими свойствами должна обладать новая техника, чтобы считаться «прорывной» (Инновационный менеджмент в России, 2004; Клочков, Гусманов, 2006; Клочков, 2009).

По нашему мнению, «прорывным» следует считать такой продукт, который не только обеспечивает значительное улучшение технико-экономических показателей нового изделия по сравнению с существующими, но и при эффективной эксплуатации способствует достижению (или существенному укреплению) устойчивых рыночных позиций компаний-потребителей этого продукта (например, для новых авиакомпаний — достижению 10%-ой рыночной доли за 10 лет<sup>3</sup>). В качестве примера формирования требований к экономическим

<sup>3</sup> Примерно за такой срок (с 1988 по 1998 гг) компании Airbus, начавшей в 1988 г. производство самолетов семейства A-320, конкурирующих с Boeing-737, удалось довести свою долю в накопленных поставках узкофюзеляжных самолетов до 9.4% (<http://www.airbus.com/>).

показателям «прорывного продукта» автором проводились оценки эксплуатации в авиакомпании нового узкофюзеляжного магистрального самолета, близкого по экономическим показателям к МС-21. Рассматривался рынок авиапассажироперевозок, приближенный к внутреннему рынку перевозок США, но участниками которого являются авиакомпании с экономическими показателями, присущими авиакомпании WN (эта компания использует только узкофюзеляжные магистральные самолеты Boeing-737 и обладает наилучшими экономическими показателями среди крупнейших американских авиакомпаний, см. табл. 3). Предполагалось, что на сложившийся рынок выходит новый участник с новой авиатехникой, характеризующейся меньшей стоимостью и большей топливной экономичностью по сравнению с техникой, используемой в других авиакомпаниях.

**Таблица 3.** Оценки лимитирующих цен (PL) семи крупнейших авиакомпаний США (WN=100), %

WN	US	CO	AA	NW	UA	DL
100	101.1	104.2	106.8	112.3	112.4	120.9

Источник: (Варшавский, 2008)

На основе агрегированной динамической модели рационального поведения олигополистов-потребителей (1)–(4) проводились оценки экономических показателей рынка (цены, объемов пассажирооборота, спроса на самолеты) на 15-летний период ( $T_1 = 15$ ) при различных вариантах стоимости и топливной экономичности новой техники, доступности инвестиций, а также сложившейся структуры рынка. Особое внимание уделялось анализу динамики спроса на новый самолет со стороны нового участника рынка, а также анализу динамики его рыночной доли. В качестве основного рассматривался вариант рынка авиаперевозок с 8 компаниями — из них 7 «старых», с такими же экономическими показателями, как и у ведущей авиакомпании WN (см. табл. 4), и одна новая, с улучшенными (относительно «старых») характеристиками.

**Таблица 4.** Примерная структура лимитирующей цены (PL) авиакомпании WN (в %) \*

Всего	В том числе		
	Капитальная составляющая $q / W(1 + r)$	Операционные затраты (без затрат на топливо)	Затраты на топливо
100	7.1	67.9	25.0

\* Рассчитано на основе данных годовых отчетов компании Southwest Airlines (Southwest Airlines Co.)

Проведенные расчеты показывают следующее:

1. В связи с невысоким удельным весом капитальной составляющей в структуре затрат снижение стоимости самолетов оказывает значительно меньшее влияние на продвижение на рынке нового продукта, чем снижение операционных затрат, в частности, затрат на топливо. Если новый самолет экономичнее моделей, предполагаемых к использованию конкурентами, на 25%, 37.5% и 50%, рыночная доля новой авиакомпании на олигополистическом рынке с 8 участниками в конце 15-летнего периода доходит соответственно до 5.2%, 6.3%

и 7.5% (см. рис. 7). При рассмотренных вариантах топливной экономичности новой техники величины среднегодового спроса на новый самолет составят соответственно 20, 24 и 28 самолетов (рис. 8).

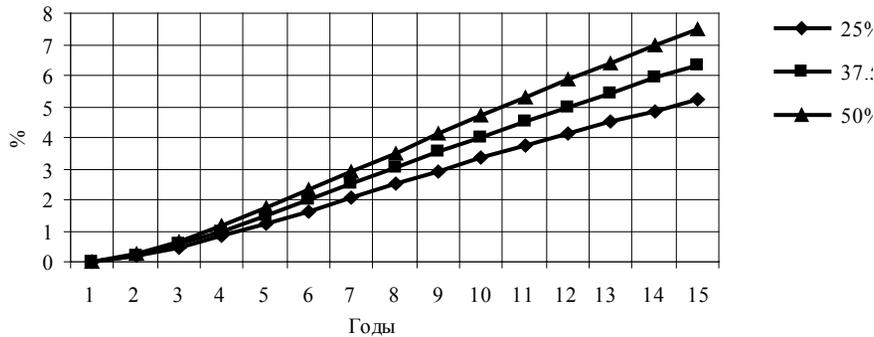


Рис. 7. Динамика рыночной доли новой авиакомпании в конце 15-летнего периода при различных уровнях топливной экономичности нового самолета

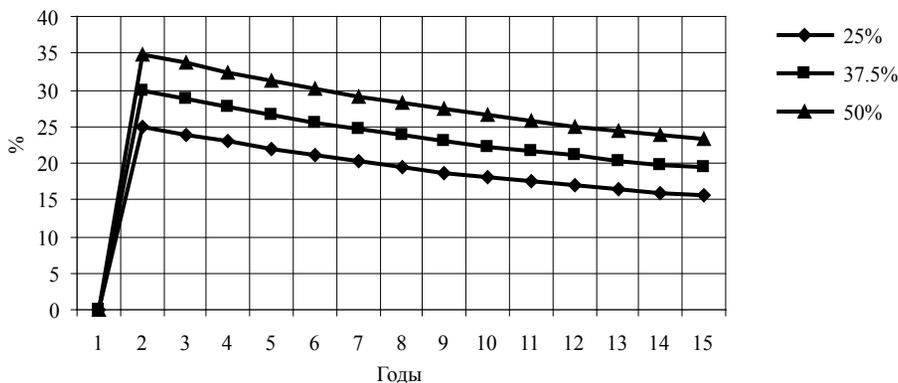


Рис. 8. Динамика спроса на новый самолет при различных уровнях топливной экономичности нового самолета

2. Повышение инвестиционных возможностей позволяет добиться существенного улучшения рыночных позиций новой авиакомпании даже при минимальных уровнях эффективности новой техники относительно старой. Так, в варианте роста топливной экономичности самолета на 25% (базовый вариант), снижение значения коэффициента  $\rho$  в соотношении (4) в 4 раза (с 0.0014 до 0.00035)<sup>4</sup> приводит к росту рыночной доли с 5.2% до 11% в конце 15-летнего периода (рис. 9). При этом среднегодовой спрос на новые самолеты увеличивается с 20 до 42 единиц.

3. Увеличение числа участников  $N$  рассматривавшегося олигополистического рынка авиаперевозок (на котором действуют  $N_1 = N - 1$  «старых» и 1 новая компании) приводит к замедлению продвижения новой модели и скорости повышения рыночной доли новой авиакомпании, эксплуатирующей более совершенную технику. Так, в условиях базового варианта

<sup>4</sup> Этот коэффициент характеризует инвестиционные возможности авиакомпании (см. п. 2).

(25%-ый уровень топливной экономичности, 8 участников рынка) при увеличении общего числа участников олигополии с 8 до 32 рыночная доля новой авиакомпании к концу 15-летнего периода уменьшается с 5.2% до 3.9% (хотя и неуклонно возрастает во времени), а величина среднегодового спроса на новый самолет уменьшается с 20 до 13 изделий (рис. 9).

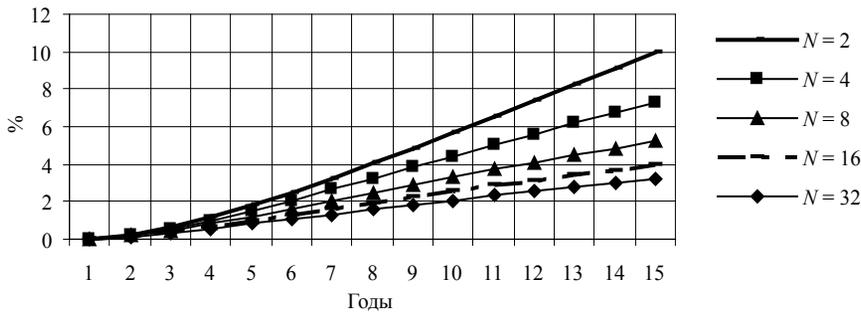


Рис. 9. Динамика рыночной доли новой авиакомпании при различном числе участников рынка  $N$

4. Увеличение числа олигополистов за счет появления на рынке сразу нескольких новых участников, с одинаковой эффективностью эксплуатирующих новый самолет, приводит к повышению темпов роста спроса на новую технику. Например, если на рынке действуют 3 «старые» компании ( $N_1 = 3$ ), эксплуатирующие старую технику, то при выходе на рынок: 5 новых компаний общий спрос на новую технику за 15 лет составит 1125 ед.; 13 компаний — 1634 ед.; 29 компаний — 1871 ед. (в варианте 25%-го уровня топливной экономичности). Интересно отметить, что большему числу «старых» участников рынка  $N_1$  соответствует большая эластичность спроса на новую технику от общего числа участников рынка  $N$  (рис. 10). Так, при наличии: трех «старых» компаний этот показатель составляет 0.11; семи — 0.35; одиннадцати — 0.72.

Таким образом, при сделанных предположениях, чем менее монополизирован рынок, тем больший спрос на новую технику может быть достигнут за счет выхода на рынок новых уча-

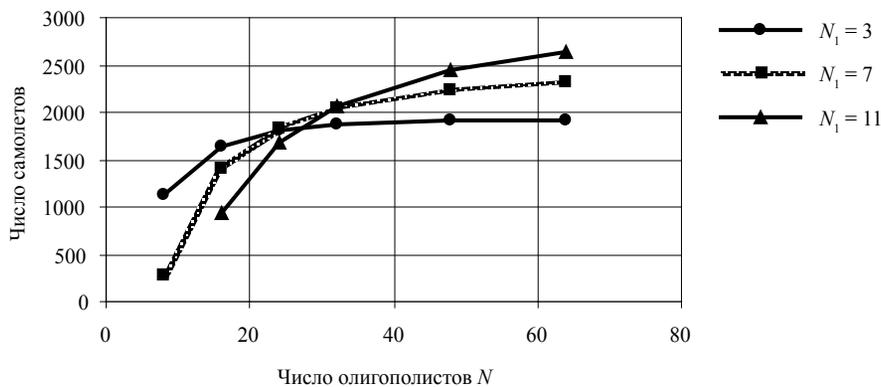


Рис. 10. Зависимость спроса на новые самолеты от общего числа участников рынка  $N$  при разных вариантах числа старых олигополистов  $N_1$

стников. При этом, если, например, перед новыми компаниями, которые будут эксплуатировать новую технику, ставится цель достижения в конце 15-летнего периода 30%-ной суммарной рыночной доли (что соответствует общему выпуску новой техники за 15 лет в размере 1900–2000 единиц), то рынки с 3, 7 и 11 «старыми» олигополистами (т. е.  $N_1 = 3, 7, 11$ ) достаточно «атаковать» соответственно 27, 23 и 19 новыми участниками (рис. 10).

5. Наконец, глубина «прорыва» рынка определяется также величиной горизонта планирования в авиакомпаниях и дисконтной ставкой: ориентация компании на долгосрочные цели способствует некоторому повышению ее рыночной доли.

Таким образом, рассмотренный пример показывает, что даже весьма существенное улучшение лишь одних летно-технических характеристик самолетов недостаточно для быстрого продвижения новой техники. Для реализации этой задачи необходимо решение широкого круга вопросов, связанных с обеспечением доступности, эффективности использования и обслуживания новой техники у потребителей, а также ее рентабельного производства (подробнее см., например, (Дементьев, 2009)). Важно подчеркнуть, что для авиастроителей, как и для других производителей высокотехнологичной продукции, разработка и реализация успешной стратегии «прорыва» на конкретный рынок должна основываться на углубленном исследовании сложившейся рыночной структуры, существенную помощь в котором могут оказать эконометрический анализ и моделирование.

## 5. Выводы

Предложенный подход к моделированию развития рынка высокотехнологичной продукции с длительным жизненным циклом (на примере гражданской авиационной техники) позволяет оценить баланс спроса и предложения и выявить узкие места у потребителей, которые должны учитываться производителями.

Разработанная агрегированная динамическая модель рационального поведения олигополистов-потребителей позволяет провести содержательное исследование сценариев развития авиакомпаний и рынка пассажирских авиаперевозок.

Проведенные на основе модели расчеты позволяют оценить масштабы влияния рыночной структуры и цен на авиационное топливо на пассажирооборот и спрос на авиационную технику.

Рассмотренный в работе подход к построению модели обучения в процессе производства с учетом эффекта «забывания» опыта позволяет существенно упростить расчеты по оптимизации развития компаний с длительным жизненным циклом продукции на олигополистических рынках.

В связи с невысоким спросом на гражданскую авиационную технику в США, усилением требований к экологическим характеристикам эксплуатируемой техники, российским авиастроителям придется в перспективе столкнуться с еще более острой конкуренцией на внутреннем рынке со стороны зарубежных производителей.

Разработанный в статье подход может найти применение при разработке новой техники (в рамках анализа затрат в течение жизненного цикла изделий — LCC), при совершенствовании методов планирования и управления в компаниях-производителях и компаниях-потребителях высокотехнологичной продукции с длительным жизненным циклом, функционирующих на олигополистических рынках.

## Список литературы

- Айвазян С. А. (2010). *Методы эконометрики*. М.: Магистр: ИНФРА-М.
- Варшавский Л. Е. (1986). Методы и модели прогнозирования показателей транспорта топливно-энергетических ресурсов (на примере газопроводного транспорта). *Экономика и математические методы*, 22 (6), 1052–1063.
- Варшавский Л. Е. (2003). *Исследование инвестиционных стратегий фирм на рынках капиталов- и наукоемкой продукции (производственные мощности, цены, технологические изменения)*. М.: ЦЭМИ РАН.
- Варшавский Л. Е. (2004). Методологические основы моделирования инвестиционного поведения промышленных фирм. В кн.: *Теория и практика институциональных преобразований в России*. Под ред. Б. А. Ерзнкяна. Выпуск 3. М.: ЦЭМИ РАН, 70–96.
- Варшавский Л. Е. (2007). Моделирование рационального поведения потребителей высокотехнологичной продукции с длительным жизненным циклом. В кн.: *Труды 30-ой юбилейной Международной научной школы-семинара имени академика С. С. Шаталина «Системное моделирование социально-экономических процессов», 27 сентября — 1 октября 2007 г., Руза*. ИПЦ Воронежского государственного университета, Ч. 1, 53–57.
- Варшавский Л. Е. (2008). Моделирование развития отраслей-потребителей высокотехнологичной продукции (на примере рынка пассажирских авиаперевозок). В кн.: *Математика. Компьютер. Образование: Сб. научн. трудов. Том 1*. Под ред. Г. Ю. Ризниченко. М. — Ижевск: «Регулярная и хаотическая динамика», 113–121.
- Варшавский Л. Е. (2009а). Моделирование развития высокотехнологичных компаний-производителей продукции с длительным жизненным циклом с учетом процессов обучения. *Концепции*, 1 (22), 90–94.
- Варшавский Л. Е. (2009б). Моделирование развития рынков высокотехнологичной продукции с длительным жизненным циклом (на примере рынка гражданской авиационной техники). В кн.: *Теория и практика институциональных преобразований в России*. Под ред. Б. А. Ерзнкяна. Выпуск 14. М.: ЦЭМИ РАН, 49–64.
- Гражданская авиация в России*. (2007). Статистический сборник. М. Росстат.
- Дементьев В. Е. (2009). ОАК и развитие российского авиастроения. *Вестник университета (Государственный университет управления)*, 3, 315–331.
- Инновационный менеджмент в России: вопросы стратегического управления и научно-технологической безопасности (2004). Руководители авт. колл. В. Л. Макаров, А. Е. Варшавский. Гл. 11. «Проблемы инновационного развития авиационной техники». М.: Наука.
- Клочков В. В., Гусманов Т. М. (2007). Проблемы прогнозирования спроса на перспективные гражданские самолеты российского производства. *Проблемы прогнозирования*, 2, 16–31.
- Клочков В. В. (2009). *Управление инновационным развитием гражданского авиастроения*. М.: ГОУ ВПО МГУЛ.
- Левенсон Г. С., Барро С. М. (1974). Определение затрат и цен на проектирование, испытание и производство планеров самолетов методом регрессионного анализа. В кн.: *Цена и качество*. М.: Прогресс.
- Попова С. (2008). «Эффект обратного клапана». *Гражданская авиация*, 1, 3–7.
- Российский статистический ежегодник* (2006). М.: Росстат.
- Уаттс Ф. (1975). Расчет затрат на разработку и производство авиационных газотурбинных двигателей. В кн.: *Ценообразование на капиталистическом рынке*. М.: Прогресс.

- Хачатуров Т. С. (1976). Критерии и показатели эффективности научно-исследовательских работ. В кн.: *Советско-американский симпозиум экономистов*. М.: Прогресс, 13–24.
- Шерер Ф. М., Росс Д. (1997). *Структура отраслевых рынков*. М.: Инфра-М.
- Alchian A. (1963). Reliability of progress curves in airframe production. *Econometrica*, 31, 679–693.
- Argote L., Epple D. (1990). Learning curves in manufacturing. *Science*, 247, 920–924.
- Basar T., Olsder G. J. (1995). *Dynamic noncooperative game theory*. Academic Press, London/NY.
- Bencard C. L. (2000). Learning and forgetting: the dynamics of aircraft production. *The American Economic Review*, 90 (4), 1034–1054.
- Bencard C. L. (2004). A dynamic analysis of the market for wide-bodied commercial aircraft. *Review of Economic Studies*, 71, 581–611.
- Gordon S. (1992). Costs of adjustment, the aggregation problem and investment. *The Review of Economics and Statistics*, 74 (3), 422–429.
- Greene W. H. (2002). *Econometric Analysis*. Upper Saddle River, NJ. Prentice Hall.
- IATA Annual Report (2009). <http://www.iata.org/pressroom/Documents/IATAAnnualReport2009.pdf>.
- Irwin D. A., Pavcnik N. (2004). Airbus versus Boeing revisited: international competition in the aircraft market. *Journal of International Economics*, 64, 223–245.
- Jiang H., Hansman R. J. (2006). An analysis of profit cycles in the airline industry. In: *6th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference*, AIAA, 2006–7732.
- Marx W. J., Mavris D. N., Schrage D. P. (1995). A hierarchical aircraft life cycle cost analysis model. *AIAA-95-3861*.
- Southwest Airlines Co. Annual Reports, 1995–2009.
- Thokala P., Scanlan J., Chipperfield A. (2010). Life cycle cost modelling as an aircraft design support tool. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 224 (4), 477–488.
- Wright T. P. (1936). Factors affecting the cost of airplanes. *Journal of Aeronautical Sciences*, 3, 122–128.