**КЛОЧКОВ Владислав Валерьевич**

# УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ ГРАЖДАНСКОГО АВИАСТРОЕНИЯ

**Монография**

**Научное издание**

**Москва, 2009**

УДК 338.45:629.7

Рецензенты:
А.М. Батков, доктор технических наук, профессор, директор Центра научно-исследовательских разработок и программ ОАО «Авиационная промышленность», президент Общества авиастроителей РФ
Л.Е. Варшавский, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник Центрального экономико-математического института Российской академии наук

**Клочков, В.В.**
Управление инновационным развитием гражданского авиастроения: монография. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009 – ??? с.

Монография посвящена экономическому анализу направлений инновационного развития гражданского авиастроения. Рассмотрены проблемы обеспечения эффективного и устойчивого развития отрасли, улучшения экономических и экологических характеристик парка гражданской авиатехники, создания общедоступного авиатранспорта, освоения рынков беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения. Особое внимание уделяется проблемам разработки стратегии развития российского гражданского авиастроения в долгосрочной перспективе, анализу эффективности и рисков реализации этой стратегии.
Монография может быть рекомендована:

- широкому кругу работников авиационной промышленности и других наукоемких отраслей, а также органов государственного управления;
- преподавателям и студентам инженерных и экономических специальностей авиационных и машиностроительных вузов и факультетов;
- научным работникам, аспирантам и докторантам, специализирующимся на проблемах инновационного развития авиационной промышленности и других наукоемких отраслей.

*Монография подготовлена по результатам исследования, частично поддерживаемого Российским гуманитарным научным фондом (проект № 08-02-00256а)*

# ОГЛАВЛЕНИЕ

**ВВЕДЕНИЕ ..... 5**

**ГЛАВА 1. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВИАСТРОЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ..... 13**

1.1. Модели затрат и прибыли авиастроительных предприятий ..... 13
1.2. Показатели эффективности работы авиационной промышленности ..... 23
1.3. Динамика совокупного объема продаж гражданской авиатехники: прогнозирование и управление ..... 36
Выводы по главе 1 ..... 49

**ГЛАВА 2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ОБНОВЛЕНИЯ ПАРКА ГРАЖДАНСКОЙ АВИАТЕХНИКИ ..... 50**

2.1. Моральное устаревание гражданской авиатехники и технико-экономический анализ перспектив её совершенствования ..... 50
2.2. Модели рынков модернизации гражданской авиатехники ..... 72
2.3. Влияние цен авиатоплива на моральное устаревание и объемы продаж авиатехники ..... 83
Выводы по главе 2 ..... 98

**ГЛАВА 3. ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАТЕХНИКИ ..... 100**

3.1. Роль экологических норм на рынках гражданской авиатехники ..... 100
3.2. Анализ эффективности государственного регулирования в сфере авиационной экологии ..... 112
Выводы по главе 3 ..... 126

**ГЛАВА 4. ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПРОДУКТОВОЙ СТРАТЕГИИ РОССИЙСКОГО ГРАЖДАНСКОГО АВИАСТРОЕНИЯ ..... 128**

4.1. Анализ емкости российского рынка гражданской авиатехники и рисков ее изменения ..... 130
4.2. Проблемы стратегического позиционирования российского гражданского авиастроения на мировом рынке ..... 145
4.3. Особенности управления инновационными проектами в гражданском авиастроении ..... 180
Выводы по главе 4 ..... 193

**ГЛАВА 5. ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТУПНОСТИ АВИАПЕРЕВОЗОК И ЕМКОСТИ РЫНКОВ АВИАТЕХНИКИ ..... 196**

5.1. Упрощенная структурная модель спроса на авиаперевозки ..... 196
5.2. Возможности повышения доступности авиаперевозок и емкости рынков гражданской авиатехники ..... 208
5.3. Комплексный анализ проблем и последствий повышения авиационной подвижности населения ..... 219
Выводы по главе 5 ..... 239

**ГЛАВА 6. ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ РЫНКОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ..... 241**

6.1. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в гражданской сфере ..... 241
6.2. Анализ экономической эффективности и прогнозирование спроса на беспилотные летательные аппараты ..... 246
6.3. Методы оптимизации модельного ряда перспективных беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения .. 256
Выводы по главе 6 ..... 267

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ..... 269**

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ..... 271**

**БЛАГОДАРНОСТИ ..... 282**

# ВВЕДЕНИЕ

Необходимость перехода российской промышленности, в т.ч. авиационной, на инновационный путь развития, является общепризнанной. Однако для того, чтобы планы инновационного прорыва увенчались успехом, необходимо определить конкретные направления и механизмы инновационного развития конкретной отрасли. Какой должна быть авиация будущего – этот вопрос авиационные инженеры адресуют, прежде всего, отраслевым экономистам. Именно экономические факторы являются одновременно и основными движущими силами развития гражданского авиастроения, и ограничителями этого развития. Экономика авиационной промышленности – самостоятельная системная дисциплина, которая развивается в нашей стране и за рубежом более 70 лет. Отечественная школа экономики авиационной промышленности создана трудами нескольких поколений ученых, в числе которых следует упомянуть, прежде всего, В.В. Андреевского, С.Д. Бодрунова, О.Н. Дмитриева, А.И. Исаева, В.Д. Калачанова, Ю.А. Ковалькова, Э.С. Минаева, С.В. Моисеева, П.А. Нечаева, И.А. Никонову, В.Б. Родинова, С.А. Саркисяна, Д.Э. Старика. В этой области экономической науки работают научные коллективы в ведущих ВУЗах России, в институтах РАН, в отраслевых НИИ, в НИИ и ВУЗах Министерства обороны РФ, экономические отделы на предприятиях отрасли, и др.

В отличие от гражданской авиации, выполняющей авиаперевозки, авиационная промышленность, т.е. отрасль, выпускающая авиатехнику[1], представлена лишь в немногих странах мира. Соответственно, экономика авиастроения как научная дисциплина развивается далеко не повсеместно. За рубежом, в особенности, в США, экономическими проблемами авиационной промышленности занимаются не только высококвалифицированные специалисты зарубежных авиастроительных компаний, но и ведущие школы экономической мысли – *National Bureau of Economic Research* (*NBER*), *Stanford University, Massachusetts Institute of Technology* (*MIT*) и др. Большой вклад в развитие экономической теории авиационной промышленности и смежных отраслей (прежде всего, воздушного транспорта) внесли такие исследователи, как A. Alchian, R. Baldwin, C. Benkard, S. Berry, D. Irwin, P. Krugman, D. McFadden, F. Nowlan, W. Sininger, и др. Многие из этих ученых известны и за пределами отрасли, некоторые отмечены нобелевскими премиями. В нашей стране экономические проблемы развития авиастроения также представляют интерес не только для отраслевых специалистов, но и для широкого круга экономистов, см., например, [49, 145]. Следует особо отметить фундаментальную монографию [62], в которой представляют свое видение проблем инновационного развития наукоемких

[1] Эти две отрасли ни в коем случае не следует путать, что, к сожалению, встречается в последние годы не только в публицистке и высказываниях общественных деятелей, но даже в профессиональном сообществе.

отраслей российской экономики авторитетные представители этих отраслей и ведущие экономисты РАН. Глава 11 указанной монографии полностью посвящена перспективам инновационного развития отечественной аэрокосмической промышленности.

Тем не менее, большинство исследований в области экономики авиационной промышленности, проводимых в России и за рубежом, ориентировано на кратко- и среднесрочную, по меркам авиастроения, перспективу. Основное внимание в работах зарубежных исследователей уделяется проблемам промышленной политики и конкуренции на мировом рынке гражданской авиатехники (см., например, [155, 157, 162, 164]), а в современных работах отечественных ученых (см. [16, 22, 49, 65, 145]) – также остроактуальным вопросам реструктуризации российского авиастроения. Однако исключительно высокая длительность жизненного цикла изделий авиастроения заставляет смотреть в будущее на 20–30 и даже на 50 лет. Конечно, на таких горизонтах планирования трудно ожидать высокой точности и достоверности прогнозов. И, тем не менее, их необходимо строить. Мир вступает в эпоху очередной смены технологических укладов, сталкивается с системными глобальными вызовами в области энергетики, экологии, в социальной сфере и т.д. Поэтому не приходится рассчитывать на то, что и через 30 лет отрасль будет работать примерно в тех же условиях, что и 30 лет назад. Анализ долгосрочных перспектив развития авиационной промышленности выходит за рамки чисто экономических проблем, а также за рамки одной отрасли. Он должен носить комплексный и междисциплинарный характер: необходимо учитывать физические основы авиационных технологий, проблемы развития взаимодействующих отраслей – гражданской авиации, топливно-энергетического комплекса и т.д., социальные, экологические и др. аспекты. Разумеется, системный анализ долгосрочных перспектив развития отрасли проводился ранее и не прекращается сейчас. В нашей стране такие проблемы изучались в работах А.М. Баткова, А.Г. Братухина, Л.М. Шкадова, специалистов отделения перспективных исследований и отдела стратегических исследований Центрального аэрогидродинамического института им. проф. Н.Е. Жуковского, кафедры «Внешнее проектирование и эффективность авиационных комплексов» Московского авиационного института, в трудах генеральных конструкторов и ведущих специалистов ряда авиастроительных конструкторских бюро. За рубежом анализ перспектив развития авиации выполняется на регулярной основе в ведущих национальных центрах авиационной науки, прежде всего, в NASA, в исследовательских подразделениях авиастроительных компаний, а также в университетах (причем, и на экономических, и на инженерных факультетах).

Как известно, лучший способ предсказывать будущее – это создавать его самим. Авиационная промышленность заинтересована в том, чтобы активно влиять на перспективы развития экономики и техники. При прове-

дении долгосрочного прогнозирования и стратегического планирования развития отраслей, рынков, регионов и т.п., получает все более широкое распространение методология Форсайт (от англ. Foresight – взгляд вперед, в будущее). Основные особенности данного подхода таковы.

- Во-первых, это не только прогнозирование (в этой части самостоятельной методологии Форсайт не существует – используемые процедуры прогнозирования сочетают известные расчетные и экспертные подходы), но именно интегрированный процесс прогнозирования будущего и выработки стратегии развития. Причем, решения принимаются при непосредственном участии тех, кому предстоит их выполнять. Это и обеспечивает б**о**льшую достоверность прогнозов, обоснованность и реализуемость планов. Поэтому принципиально невозможно проведение процедур Форсайт в узком кругу экспертов и руководителей, с последующим доведением результатов до работников отрасли. Естественно, согласование планов и прогнозов не может быть достигнуто «за один проход», это итеративная процедура. Более того, это не однократная процедура, а постоянный процесс, сопровождающий реализацию стратегии и обеспечивающий, при необходимости, ее коррекцию.
- Во-вторых, корректный анализ системных проблем развития гражданского авиастроения не может ограничиваться рассмотрением исключительно экономических аспектов и лишь двух взаимосвязанных отраслей, авиационной промышленности и гражданской авиации. Для того, чтобы обеспечить системность и комплексный характер прогнозов и планов, в процесс их выработки необходимо вовлекать широкий круг заинтересованных лиц. Применительно к авиации, это не только авиастроители (в широком смысле, включая инженеров и ученых, представителей трудовых коллективов высококвалифицированных рабочих) и авиаперевозчики. Это также представители смежных с авиастроением отраслей промышленности (радиоэлектронной, химической промышленности, металлургии, станкостроения и т.п.), топливно-энергетического комплекса, поставляющего гражданской авиации горюче-смазочные материалы, и др. Гражданская авиация призвана удовлетворять потребности населения в авиаперевозках, поэтому должны быть отражены интересы и взгляды на будущее потенциальных потребителей транспортных услуг, местных властей, ответственных за социально-экономическое развитие территорий. Кадровый и научно-технический потенциал отрасли создают образование и наука, поэтому необходимо учитывать их интересы и возможности. Наконец, авиационная деятельность затрагивает интересы широких кругов населения, даже если они не пользуются услугами воздушного транспорта – в экологической сфере и т.п. Поэтому к выработке прогнозов и стратегий развития такой общественно значимой отрасли необходимо привлекать все гражданское общество, в широком смысле.

Важно подчеркнуть, что демократичный характер методологии Форсайт не отменяет требований к компетентности экспертов, поэтому, например, с главой муниципалитета предпочтительнее обсуждать проблемы землеотвода под строительство аэропорта или возможности улучшении транспортного обслуживания территории, а не жаропрочные покрытия турбинных лопаток, и т.п. Что происходит при несоблюдении этого естественного требования – можно нередко увидеть в настоящее время. Например, в работе с многообещающим названием «Авиация будущего» [17], опубликованной в журнале «Форсайт», можно прочесть, что прямоточный двигатель, установленный на экспериментальном гиперзвуковом летательном аппарате NASA X-43A благодаря использованию водородного топлива способен разгоняться до оборотов[1], недостижимых для других типов двигателей, и т.п. Корректность такого анализа и ценность стратегий, построенных на основе его результатов, нуждаются, по мнению автора, в дополнительном обосновании.

В ходе анализа долговременных перспектив развития гражданского авиастроения приходится решать не только технико-экономические, но и социально-экономические, экономико-географические, эколого-экономические и другие комплексные научные задачи. В экономике авиационной промышленности отражается весь спектр проблем инновационного экономического развития, и решение этих проблем требует применения всего арсенала современных методов экономических исследований. Поэтому автор надеется, что предлагаемая книга будет интересна не только отраслевым специалистам, но и широкому кругу экономистов. Причем, наибольший интерес может представлять именно уникальная отраслевая специфика, которая делает непродуктивным использование «универсальных» рецептов по принципу: «авиастроение – это такой же бизнес, как и любой другой». К сожалению, такой подход был в последние годы весьма популярным в нашей стране, что привело к тяжелым последствиям для всех отраслей российской промышленности и нанесло серьезный ущерб авторитету экономической науки как таковой. В связи с этим, в данной работе не будет рассуждений об «инновациях вообще», а также попыток приложения к проблемам отрасли «универсального» аппарата из учебников по инновационному менеджменту и т.п. Акцент делается на экономическом анализе конкретных направлений инновационного развития отрасли.

В предлагаемой книге обобщены результаты цикла исследований, выполненных автором совместно со студентами и аспирантами Московского физико-технического института. Разумеется, такая работа сама по себе не может представлять собой «Форсайт по авиации» (согласно самому определению методологии Форсайт, см. выше), однако может быть полезной при проведении соответствующих процедур. Здесь предпринята по-

[1] Прямоточные реактивные двигатели, за исключением двигателей комбинированных схем, не имеют вращающихся частей, подробнее см. [148].

пытка дать научно обоснованные ответы на ряд вопросов, актуальных для российской и мировой авиации (а иногда – и впервые поставить такие вопросы). Вот их краткий перечень.

- Нужно ли России гражданское авиастроение, и для чего? Обоснована ли государственная поддержка гражданского авиастроения, и в каких формах ее целесообразно оказывать?
- Какие экономические факторы являются движущими силами процессов обновления парка гражданской авиатехники, и как эти процессы сказываются на экономическом положении авиастроения?
- Необходимо ли государственное вмешательство для улучшения экологических характеристик авиатехники, и в какой форме оно должно осуществляться? Не является ли введение и ужесточение экологических норм инструментом конкурентной борьбы и стимулирования продаж авиатехники?
- На какие рынки (внутренний или мировой) и на какие сегменты рынка гражданской авиатехники целесообразно ориентироваться российскому авиастроению?
- Какие требования следует предъявлять к технико-экономическим характеристикам перспективных типов гражданской авиатехники и срокам их выхода на рынок?
- Возможен ли в принципе, и как должен выглядеть общедоступный воздушный транспорт будущего? Какие проблемы и угрозы может создать существенное повышение авиационной подвижности населения?
- Как оценить эффективность применения беспилотных летательных аппаратов в гражданской сфере, и какова возможная емкость их рынка? Какие именно изделия данного класса целесообразно создавать?

Структура книги в основном соответствует вышеприведенным вопросам. Конечно, данные автором ответы на эти вопросы не являются исчерпывающими и окончательными. Многие из предлагаемых моделей являются чрезвычайно упрощенными, и служат лишь для получения качественных выводов и демонстрации предлагаемых подходов. Если эти подходы окажутся здравыми, соответствующие модели могут быть доведены до уровня, позволяющего проводить практические расчеты.

Разумеется, эта работа не претендует на всеобъемлющий характер. Основное внимание в ней уделяется факторам, «внешним» по отношению к предприятиям – спросу на продукцию, рынкам, рискам и т.п. Остаются «за кадром», безусловно, важнейшие проблемы организации авиастроительного бизнеса, внедрения новых технологий разработки, производства и послепродажного обслуживания авиатехники, частично освещенные в предыдущих монографиях автора [78, 79]. Иначе говоря, эта книга посвящена, в основном, проблемам выработки *продуктовой* стратегии, т.е. ответам на вопросы «что следует разрабатывать и производить, для кого и в каких объемах», и почти не касается *процессной* и *организационной* стратегий,

т.е. ответам на вопросы «как именно следует работать» и «какой должна быть организационная структура отрасли». Обычно под управлением инновационным развитием подразумевают (см., например, [39]) именно организацию инновационной деятельности, управление реализацией инновационных проектов, которому в данной работе уделяется сравнительно мало внимания. Однако на долгосрочных интервалах, которые рассматриваются в этой книге, важнее определиться с целями и общими направлениями развития отрасли.

Автор надеется, что полученные в данной работе результаты будут полезными при формировании долгосрочной стратегии развития российской авиационной промышленности и отраслевой науки. Тем не менее, предлагаемая книга посвящена не только специфическим проблемам российского авиастроения, но и экономическим проблемам долгосрочного развития мирового гражданского авиастроения. Если российская авиационная промышленность возродится и займет достойное место на мировом рынке, она столкнется с теми же системными проблемами, которые неизбежны даже для благополучного зарубежного авиастроения. В связи с этим возникает вопрос: почему бы не воспользоваться результатами зарубежных исследований в области экономики авиастроения, тем более, что квалификация зарубежных отраслевых экономистов подтверждается успешным опытом работы авиационной промышленности развитых стран мира? Специалистам, работающим в отрасли, хорошо известно, что компании-лидеры мирового гражданского авиастроения Boeing и Airbus Industry ежегодно разрабатывают комплексные прогнозы развития рынков авиаперевозок и гражданской авиатехники на предстоящие 20 лет, называемые, соответственно, *Current Market Outlook* (*CMO*) и *Global Market Forecast* (*GMF*). Формирование этих прогнозов базируется на развитом методическом аппарате, который, на первый взгляд, нужно просто взять на вооружение. Однако такой подход представляется автору неправомерным по следующим причинам.

- Во-первых, заимствование методического аппарата может скорее привести к повторению чужих ошибок, а не успехов. Как будет показано далее, догоняющее развитие, неизбежное при использовании чужих научных подходов (даже успешных) в инновационной экономике принципиально неэффективно. Кроме того, применение подходов, используемых Boeing и Airbus, в лучшем случае, позволит получить то же самое, что получают аналитики этих компаний – те же требования к перспективной авиатехнике, что воплощены в современных проектах этих компаний и те же прогнозы рыночной конъюнктуры, что содержатся в *CMO* и *GMF*, соответственно. Нелишне напомнить, что в этих прогнозах российское гражданское авиастроение практически отсутствует. Если читателей этот результат не устраивает, необходимо не просто строить иной прогноз, более благоприятный для отечественной промышленности, а разрабатывать

стратегию, позволяющую этот сценарий реализовать. Для этого требуется новый методический аппарат, непохожий на тот, что используется нынешними лидерами мирового авиастроения. Методики, используемые при построении *CMO* и *GMF*, имеют сходную структуру[1]: на основе прогноза объема авиаперевозок, а также данных о состоянии парка гражданской авиатехники, строятся прогнозы потребности в новых воздушных судах. Такая линейная структура алгоритма проста и позволяет получить прогноз «за один проход». Однако при этом прогнозы развития рынка авиаперевозок являются экзогенными, т.е. практически не зависят от технико-экономических параметров воздушных судов и экономического положения выпускающей их отрасли – авиастроения. В случае кардинальных изменений характеристик воздушных судов или экономических условий работы гражданской авиации (например, исчерпания запасов нефти и удорожания авиатоплива) полученные таким образом прогнозы будут ошибочными.

- Во-вторых, строго говоря, 20-летний горизонт планирования, на который разрабатываются *CMO* и *GMF*, не является стратегическим для такой отрасли, как авиастроение. Такой период сопоставим с длительностью периода продаж лишь одного поколения гражданской авиатехники, и закономерно, что отечественной авиапромышленности в этих прогнозах нет, поскольку, по признанию большинства специалистов и руководителей отрасли, современное поколение гражданской авиатехники, которое в настоящее время представлено на рынке, наша страна фактически пропустила. Чтобы создавать необходимый научно-технологический задел, следует определить ориентиры развития отрасли на более долгосрочную перспективу.

Модели и методы, предлагаемые в этой книге, нацелены не на построение прогнозов рыночной конъюнктуры наподобие *CMO* и *GMF*. Скорее, они призваны помочь в разработке стратегии развития отраслевой науки, аналогичной принятому правительством США в 2007 г. национальному плану исследований и разработок в сфере авиации [165]. Однако и этот план российскому авиастроению не следует буквально воспринимать как руководство к действию. Он построен, исходя из определенных целевых установок – удержание глобального лидерства США в воздухе и т.п. – которые не только неприменимы к России в ее нынешнем положении, но и могут, как будет показано далее, привести к системным противоречиям саму страну, претендующую на такое лидерство. Успех развития зарубежного гражданского авиастроения – это успех лишь относительный (на фоне кризисного состояния российской промышленности). Даже сейчас зарубежное авиастроение развивается отнюдь не без проблем. Что касается долгосрочных перспектив, вся мировая авиационная промышленность и гражданская авиация все в большей мере ощущают на себе глобальные противоречия – социальные, экологические, энергетические и т.п., и нельзя

[1] Аналогичные методики используются и отечественными научными коллективами – например, ГосНИИ ГА, подробнее см. [133, 134].

сказать, что зарубежная отраслевая экономика уже готова ответить на эти вызовы будущего. То есть нынешний безусловный выигрыш зарубежного авиастроения в конкурентной борьбе с отечественным отнюдь не означает, что избранная зарубежными компаниями стратегия развития оптимальна даже для них самих в долгосрочной перспективе. Предпринятая здесь попытка заглянуть в будущее гражданского авиастроения может быть полезна уже тем, что, возможно, российским предприятиям не придется догонять зарубежных конкурентов в том, в чем их догонять нецелесообразно. Стратегия развития российской авиационной промышленности должна формироваться на основе самостоятельных системных исследований, и автор надеется, что предлагаемая книга внесет вклад в их активизацию.

# ГЛАВА 1. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВИАСТРОЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

## 1.1. Модели затрат и прибыли авиастроительных предприятий

### *1.1.1. Особенности структуры и поведения затрат авиастроительных компаний*

Обсуждая проблемы управления инновационным развитием авиационной промышленности, необходимо представлять себе особенности этой отрасли как объекта управления. Разработка и производство авиатехники обладают, с экономической точки зрения, существенной отраслевой спецификой, которая проявляется, прежде всего, в особенностях затрат, или издержек: в их структуре, поведении в зависимости от выпуска продукции, а также в их распределении по стадиям *жизненного цикла изделий* (ЖЦИ). Эти особенности во многом определяют рыночное поведение предприятий и отраслей, риски их развития, и т.п. Данный раздел не претендует на научную новизну – его можно рассматривать как краткое введение в экономику авиастроения.

Авиационную промышленность принято относить к *наукоемким* отраслям, поскольку при создании авиатехники относительно высока доля затрат на *научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы* (НИОКР), в т.ч., и на фундаментальные научно-исследовательские работы (НИР). Причем, затраты на НИОКР и *технологическую подготовку производства* (ТПП) практически не зависят от объема выпуска, т.е. относятся к *постоянным затратам* разработчиков и производителей авиатехники:

$$FC = C_{\text{НИОКР}} + C_{\text{ТПП}}, \qquad (1.1)$$

где $C_{\text{НИОКР}}$ – затраты на НИОКР;

$C_{\text{ТПП}}$ – затраты на ТПП;

$FC$ – постоянные затраты ($FC$ = *Fixed Cost*).

То, что затраты на НИОКР практически не зависят от объемов выпуска, очевидно. Но правомерно ли считать постоянными затраты на ТПП? Они включают в себя затраты на разработку технологий производства изделий, а также затраты на создание производственных мощностей, которые могут зависеть от планируемого объема выпуска, поскольку чем больше планируется выпускать изделий, тем больше потребные производственные мощности. Тем не менее, количество закупаемого оборудования определяется именно мощностью, т.е., потенциально возможным, а не фактическим выпуском. Кроме того, следует учитывать дискретный характер затрат на создание производственных мощностей: единица оборудования мощностью $V$ позволяет выпускать от 0 до $V$ изделий за единицу времени. Поэтому, например, если мощность определенного вида оборудова-

ния составляет 100 изделий в год, то затраты на приобретение оборудования не будут зависеть от выпуска, если он будет лежать в пределах от 101 до 200 изделий в год, поскольку при этом, в любом случае, потребуется приобретение и содержание двух единиц оборудования, и т.п.

Постоянные затраты вносят вклад в среднюю себестоимость одного изделия, называемый *средними постоянными затратами AFC* (*AFC = Average Fixed Cost)*. Они сокращаются обратно пропорционально суммарному объему выпуска за весь ЖЦИ $Q$:

$$AFC(Q) = \frac{FC}{Q} = \frac{C_{\text{НИОКР}} + C_{\text{ТПП}}}{Q}. \qquad (1.2)$$

Абсолютные значения постоянных затрат на реализацию авиастроительных проектов весьма велики – порядка нескольких миллиардов долларов. Например, известно, что затраты на НИОКР и ТПП по программе создания широкофюзеляжного самолета сверхбольшой вместимости А-380 составили свыше 12 млрд. евро [130, 174]. В то же время, характерные значения выпуска гражданской авиатехники составляют для наиболее успешных проектов лишь несколько тысяч изделий за весь ЖЦИ. Наиболее массовые семейства узкофюзеляжных среднемагистральных самолетов – Boeing-737 американской компании Boeing и А-320 западноевропейского концерна Airbus Industry – преодолели отметку в 5000 выпущенных машин; характерные выпуски изделий более тяжелых классов, как правило, еще ниже. Поэтому доля средних постоянных затрат в себестоимости авиатехники весьма высока, а средняя себестоимость изделий существенно зависит от объема их выпуска. В случае самолета А-380, описанном выше, средние постоянные затраты составят, по меньшей мере:

- при суммарном выпуске 300 самолетов – 40 млн евро на один экземпляр;
- при суммарном выпуске 600 самолетов – 20 млн евро на один экземпляр, и т.д.

Такой уровень средних постоянных затрат является существенным даже на фоне цены самолета А-380, которая составляет около 300 млн евро [130, 174].

Стоимость серийного производства авиатехники $C_{\text{произв}}$ [1] включает в себя, прежде всего, материальные затраты (на закупку сырья, комплектующих изделий и производственных услуг) и затраты на оплату труда:

$$C_{\text{произв}} = C_{\text{мат}} + C_{\text{тр}}.$$

[1] Здесь учитываются лишь т.н. *прямые затраты* производства, включающие в себя затраты на оплату труда и материальные затраты. Что касается затрат на создание основных фондов, они в данной модели уже учтены на стадии ТПП, хотя затраты на поддержание мощностей, на *техническое обслуживание и ремонт* (ТОиР) оборудования, зданий и сооружений, также относящиеся к постоянным затратам, приходится нести на протяжении всего этапа серийного производства изделий.

Себестоимость серийного производства авиатехники уже относится, преимущественно, к *переменным* затратам *VC* (*VC = Variable Cost*, переменные затраты), т.е., зависит от объема выпуска:

$$VC(Q) = C_{\text{произв}},\ \frac{\partial VC}{\partial Q} > 0.$$

Эта зависимость в авиационной промышленности является весьма специфической. Удельные (в расчете на одно изделие) затраты существенно сокращаются с ростом накопленного выпуска изделий данного типа. Это вызвано следующей особенностью отраслевых технологий, отличающей авиастроение (и некоторые другие отрасли наукоемкого машиностроения) даже от большинства высокотехнологичных отраслей промышленности. Вопреки распространенному стереотипу, даже в самых передовых зарубежных странах самолетостроительное производство (в особенности сборка самолетов) автоматизировано лишь в малой степени и требует больших объемов высококвалифицированного ручного труда. Себестоимость первых серийных экземпляров обычно очень высока, поскольку производственным рабочим необходимо освоить новые технологии, приемы, и т.п. Но с каждым выпущенным экземпляром изделия накапливается опыт, что приводит к значимому сокращению удельных затрат. В этом состоит суть *эффекта обучения*, характерного для авиастроительных и некоторых других производств, требующих высокой квалификации рабочих [171]. Зависимость себестоимости одного экземпляра от накопленного выпуска называется *кривой обучения*. Прежде всего, обучение позволяет сократить удельные трудозатраты. Накопление опыта производства авиатехники позволяет также несколько снизить уровень удельных материальных затрат, но этот эффект существенно слабее. Поэтому удельные материальные затраты на выпуск одного изделия $c_{\text{мат}}$ приближенно можно считать фиксированными. В простейшем случае (см. [152, 155, 171]) можно представить кривую обучения для трудозатрат в следующем виде:

$$c_{\text{тр}}(q) = c_{\text{тр}}^{1}(1-\lambda)^{\log_2 q}, \qquad (1.3)$$

где $c_{\text{тр}}^{1}$ – трудозатраты (в денежном выражении) на выпуск первого экземпляра изделий нового типа;

$q$ – *накопленный выпуск* (число выпущенных экземпляров с начала периода производства изделий данного типа).

Эта формула означает, что удвоение накопленного выпуска приводит к снижению удельных трудозатрат в $(1-\lambda)$ раз. Параметр $\lambda$ называется *темпом обучения*. По данным зарубежных исследований [152, 155], удвоение накопленного выпуска пассажирских самолетов сокращает стоимостные трудозатраты на сборку одного экземпляра, приблизительно, на 15...20 %. Разумеется, такая модель кривой обучения (как и любая другая) является лишь приближенной, и применима лишь в определенном диапа-

зоне выпусков. Например, очевидно, что при неограниченном возрастании накопленного выпуска удельные трудозатраты, вопреки приведенной модели, не будут сокращаться до нуля, поскольку эффект обучения приводит лишь к устранению потерь рабочего времени, рационализации выполняемых операций. Достигаемое при этом сокращение трудоемкости, очевидно, имеет предел. Однако в приближенных расчетах можно пользоваться логарифмической моделью (1.3), поскольку, как было отмечено выше, фактические значения накопленного выпуска авиатехники составляют несколько сотен или тысяч изделий за весь ЖЦИ, а наиболее существенным эффект обучения является на начальных этапах серийного производства. В ряде работ, в т.ч. отечественных ученых (см., например, [29]) предложены более совершенные и, в то же время, более простые в вычислительном плане модели эффекта обучения.

Таким образом, суммарные прямые затраты на стадии серийного производства авиатехники можно выразить следующей формулой:

$$C_{\text{произв}}(Q) = c_{\text{мат}} \cdot Q + \sum_{q=1}^{Q} c_{\text{тр}}(q), \qquad (1.4)$$

где $Q$ – суммарный объем выпуска изделий данного типа за весь ЖЦ.

Суммарные затраты на разработку и производство авиатехники можно выразить следующим образом:

$$TC = FC + VC(Q) = C_{\text{НИОКР}} + C_{\text{ТПП}} + C_{\text{произв}} \qquad (1.5)$$

(*TC = Total Cost* – общие издержки, или общие затраты). Средняя себестоимость одного изделия может быть выражена следующей формулой:

$$AC = \frac{TC}{Q} = \frac{FC + VC(Q)}{Q} = AFC + AVC = \frac{C_{\text{НИОКР}} + C_{\text{ТПП}} + C_{\text{произв}}}{Q} =$$

$$= \frac{C_{\text{НИОКР}} + C_{\text{ТПП}}}{Q} + c_{\text{мат}} + \frac{1}{Q}\sum_{q=1}^{Q} c_{\text{тр}}(q) \qquad (1.6)$$

(*AC = Average Cost* – средние издержки, или средние затраты). Наличие эффектов обучения усиливает сокращение средней себестоимости изделий с ростом объема их выпуска. Таким образом, за счет эффекта обучения производитель, достигший большего объема выпуска авиатехники, приобретает дополнительные конкурентные преимущества, наряду с упомянутым выше сокращением средних постоянных затрат.

На рис. 1.1 приведен график зависимости средней себестоимости самолета от суммарного объема выпуска за весь ЖЦИ при следующих исходных данных, приблизительно соответствующих программе создания широкофюзеляжного самолета сверхбольшой вместимости А-380 западноевропейского консорциума Airbus Industry [130, 174]: $FC$ = 12 млрд долл.; $c_{\text{мат}}$ = 100 млн долл./ед.; $c_{\text{тр}}^{1}$ = 350 млн долл.; $\lambda$ = 15 %.

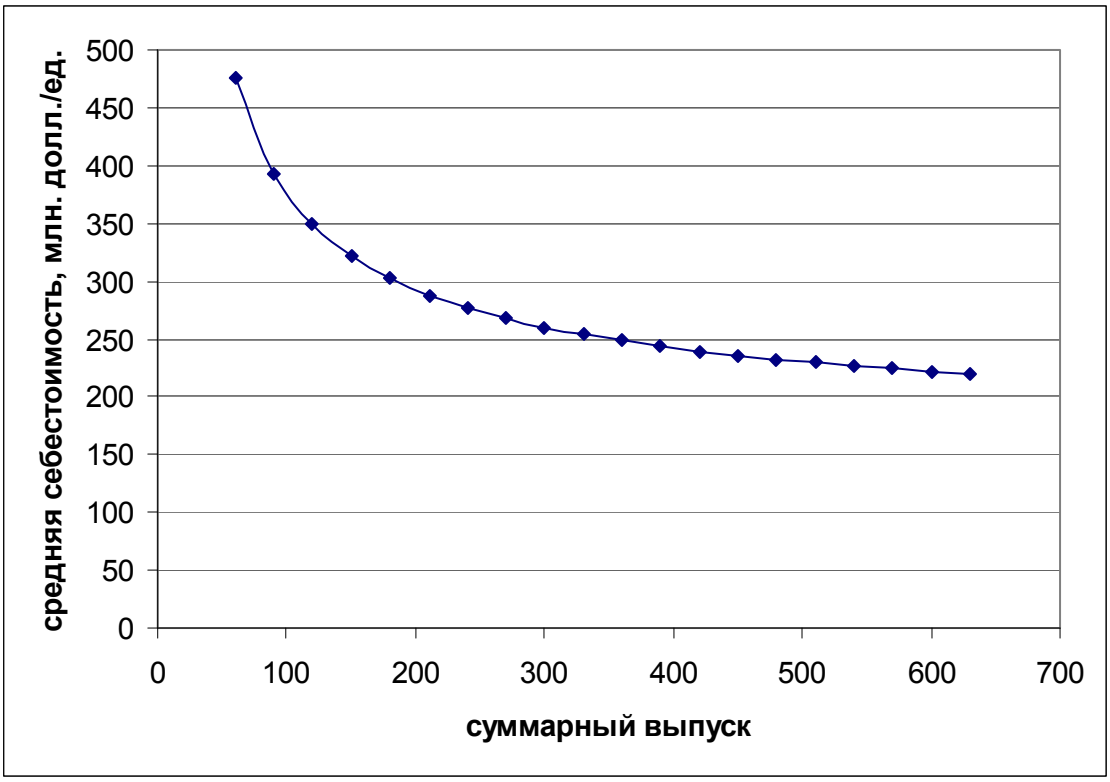


Рис. 1.1. Пример зависимости средней себестоимости самолетов от суммарных объемов выпуска

Из рисунка видно, что при увеличении суммарного выпуска со 100 экземпляров до 200 средняя себестоимость сокращается на 22 %, а при последующем увеличении выпуска от 200 до 500 – лишь на 21 %. Таким образом, быстрее всего средняя себестоимость сокращается на начальных этапах выпуска, в дальнейшем резервы ее сокращения исчерпываются.

Высокий уровень постоянных затрат и эффект обучения приводят к тому, что выпуск воздушных судов и авиадвигателей должен быть относительно массовым. В противном случае средние издержки будут неприемлемо высокими, что приведет к росту цены изделий, снижению их конкурентоспособности и прибыли производителей. Характерный пример приведен в [61]. Созданный Швецией самостоятельно (в силу нейтрального статуса этой страны) истребитель SAAB JAS39 Gripen в течение длительного времени практически не поставлялся на экспорт. Общий объем выпуска не превышал 140 единиц, т.к. самолет выпускался исключительно для нужд ВВС Швеции. В то же время, постоянные затраты, потребные для создания современного истребителя[1] и подготовки его серийного производства, были понесены Швецией в полном объеме. По официальным данным, общая стоимость программы разработки, ТПП и серийного вы-

[1] Самолет SAAB JAS39 Gripen, будучи, фактически, первым серийным истребителем пятого поколения, отличается многими особенностями, потребовавшими как масштабных НИОКР, так и коренного технологического перевооружения серийного производства. В числе этих особенностей – полимерно-композитная конструкция планера, цифровая электродистанционная система управления, и др., см. [61].

пуска $TC = C_{\text{НИОКР}} + C_{\text{ТПП}} + C_{\text{произв}}$ первых 110 самолетов JAS39 Gripen составила свыше 10 млрд долл. в ценах 1992 г. [61]. Оценим среднюю себестоимость одного самолета:

$$AC = \frac{TC}{Q} = \frac{10\,\text{млрд долл.}}{110\,\text{шт.}} \approx 91\frac{\text{млн долл.}}{\text{шт.}}.$$

Для сравнения, рыночная цена (заведомо превышающая себестоимость) истребителей, практически не уступающих по своим характеристикам JAS39, но выпущенных в объеме нескольких тысяч, составляет 30...40 млн. долл., см. [61]. Важно подчеркнуть, что приведенный пример – из области военного авиастроения, поэтому высокая средняя себестоимость изделий еще не является показателем неэффективности проекта и основанием для его прекращения. Несмотря на дороговизну, проект может быть реализован, исходя из тех или иных стратегических соображений. Однако в гражданском авиастроении роль коммерческой эффективности проекта существенно выше, чем в военной сфере.

### *1.1.2. Прибыль авиастроительных компаний и риски ее изменения*

Одним из главных показателей коммерческой эффективности проекта и его реализуемости в рыночных условиях (когда предприятия коммерчески самостоятельны и должны работать, в основном, безубыточно) является *прибыль*. Прибыль от реализации проекта П представляет собой разность суммарной *выручки* за весь ЖЦИ $R$ (от англ. *Revenue* – выручка, или доход) и общих затрат:

$$\text{П} = R - TC. \tag{1.7}$$

Если цена изделий $p$ (от англ. *Price* – цена) постоянна, выручка равна произведению цены на объем продаж:

$$R = pQ \tag{1.8}$$

На рис. 1.2 изображены графики суммарных выручки, затрат и прибыли от реализации программы создания сверхбольшого пассажирского самолета, описанной в предыдущем разделе. Цена принята равной 285 млн долл./ед. На рынках гражданской авиатехники изначально объявленная цена может быть существенно ниже себестоимости первых выпущенных экземпляров. Однако авиастроительные компании, объявляя цену на будущие изделия, рассчитывают, что благодаря эффекту обучения себестоимость в дальнейшем снизится, и производство станет прибыльным.

Из рисунка видно, что в данном примере окупаемость программы достигается, если удастся реализовать, по меньшей мере, 220 самолетов. Для сравнения: по оценкам руководства компании Airbus Industry порог окупаемости программы А-380 составлял 250 единиц при цене 285 млн долл. [130, 143].

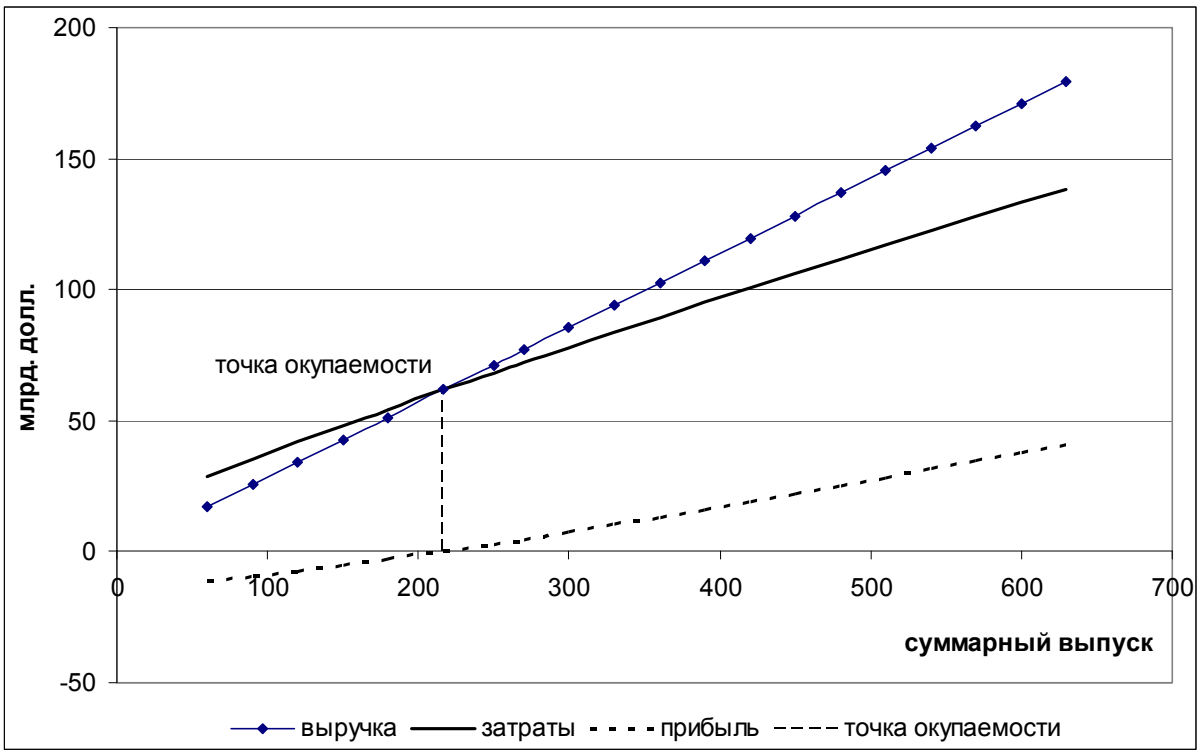


Рис. 1.2. Пример зависимости выручки, затрат и прибыли от суммарного выпуска воздушных судов

Прибыль от осуществления авиастроительных проектов весьма чувствительна к отклонению объема продаж от ожидаемого значения. Так, если в приведенном примере суммарный объем продаж составит не 300, а 270 самолетов, т.е. всего на 10 % меньше планируемого, ожидаемая прибыль упадет с 7,5 млрд долл. до 4,7 млрд долл., т.е. на 37 %. Выражаясь экономическим языком, *эластичность*[1] прибыли по объему продаж существенно выше единицы (в данном примере она составляет 3,7), причем, по мере приближения к порогу окупаемости она неограниченно возрастает. Высокая чувствительность прибыли авиастроительных компаний к изменениям объемов продаж объясняется следующим образом. С одной стороны, и выручка, и затраты на реализацию проектов создания самолетов и авиадвигателей характеризуются значительными объемами (порядка миллиардов или даже десятков миллиардов долларов). С другой стороны, в силу жесткой конкуренции на рынках авиатехники, норма прибыли относительно невысока, и выручка лишь незначительно превышает затраты. В итоге, прибыль является разностью больших, но близких по значению величин. Поэтому даже небольшие относительные отклонения выручки и затрат от плановых значений могут превратить рентабельный проект в убыточный, и наоборот. Сильный эффект обучения делает сумму затрат на серийное производство и, как следствие – прибыль – еще более чувствитель-

[1] Эластичность функции по аргументу показывает (приближенно), на сколько процентов изменится значение функции, если значение аргумента увеличится на 1% [147].

ными к изменениям объема продаж. Эта особенность, во многом, объясняет значительные колебания рыночных курсов акций авиастроительных компаний вследствие несущественных, на первый взгляд, событий. Так, в 2006 г. концерн Airbus Industry, столкнувшись с рядом технических проблем, был вынужден объявить о переносе первых поставок нового широкофюзеляжного самолета сверхбольшой вместимости А-380 на 6–9 месяцев. Это повлекло за собой отмену опционов и заказов некоторых авиакомпаний общим объемом несколько десятков экземпляров, а также резкое (на 26 %) падение курса акций концерна (см., например, [143]). На первый взгляд, такие колебания вызваны лишь паникой на бирже, и никак не оправданы с экономической точки зрения. На несколько десятков экземпляров снизился относительно планового уровня объем продаж лишь одного из продуктов Airbus Industry (притом, что основу производственной программы составляют успешно продающиеся самолеты меньшей размерности). Однако, как показывают оценочные расчеты в приведенном примере, возможные изменения прибыли при сокращении объемов продаж с 300 до 250 единиц составляют около 5 млрд долларов, что сравнимо с фактически происшедшим сокращением капитализации (т.е., суммарной стоимости акций) концерна на 5,5 млрд евро. Поскольку капитализация компании отражает ожидания акционеров относительно будущей прибыли, можно считать, что наблюдавшаяся реакция фондового рынка на изменения в программе А-380 была вполне адекватной.

Для снижения риска убыточности проекта, необходимо на самых ранних стадиях ЖЦИ обеспечить объемы будущих продаж, существенно превышающие порог окупаемости проекта. Для этого проводится комплекс маркетинговых мероприятий, направленных на учет потребностей потенциальных заказчиков и получение предварительных заказов. Новые возможности в этой сфере предоставляют информационные технологии, подробнее см. [79, 83, 124]. Однако риск реализации авиастроительных проектов остается высоким. Во многом это обусловлено их чрезвычайно долгосрочным характером. Только предпроизводственные стадии ЖЦИ (НИОКР и ТПП) могут длиться 5–10 лет, требуя вложений в размере нескольких миллиардов долларов. Причем, по окончании этих стадий возврат инвестиций только начнется, а срок окупаемости проекта может быть близким к общей длительности ЖЦИ. Кредиты частных инвесторов, привлекаемые под такие долгосрочные и рискованные проекты, как правило, выдаются под высокую ставку процента, включающую в себя премию за риск. В экономически развитых странах мира широко практикуется государственное гарантирование кредитов, выдаваемых частными банками авиастроительным компаниям. В случае провала проекта возврат ссуды, выданной авиастроителям частными банками, производится за счет средств государственного бюджета. Только благодаря этому авиастроительным компаниям удается привлекать кредиты под относительно низкие

ставки процента. По прогнозам компании Boeing [120], в случае исчезновения государственных гарантий по кредитам, выдаваемым частными банками авиастроительным компаниям США и Европы, процентные ставки по этим кредитам выросли бы от нынешних, практически околонулевых значений до 12...15 % годовых. На рис. 1.3 наглядно показано, во сколько раз сумма, подлежащая возврату, возрастет за время до погашения кредита при различных значениях годовых процентных ставок.

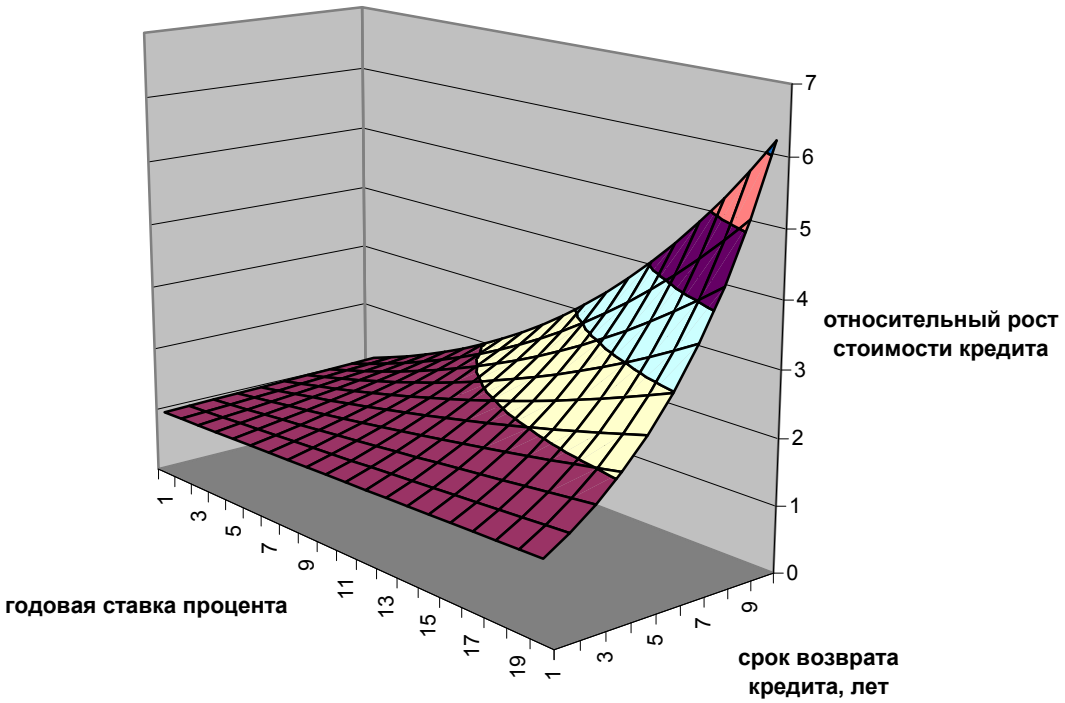


Рис. 1.3. Относительный прирост суммы, подлежащей возврату

Так, если период разработки и освоения серийного производства длится 5 лет, а годовая ставка процента составляет 15 %, сумма, потребная на создание нового образца авиатехники, за счет наросших на нее процентов по кредитам, практически удвоится. При ставке процента 20 % годовых за 6 лет сумма, подлежащая возврату, утроится, и т.д. Повышение процентных ставок до указанных значений повлекло бы за собой радикальное удорожание авиатехники, и, как следствие, снизило бы ее конкурентоспособность и повысило бы риск рыночного провала нового самолета или авиадвигателя. В случае исчезновения государственных гарантий по кредитам, и американские, и европейские авиастроители всерьез опасаются тотального разорения. И даже без учета описанного фактора высоких процентных ставок по кредитам, как утверждают авторы книги [72], лишь несколько проектов в истории мирового гражданского авиастроения были в полном смысле слова прибыльными, т.е. эффективными с коммерческой точки зрения. Разумеется, аргументация столь сильного утверждения является небесспорной. Отмечено, что для подавляющего большинства типов

реактивных гражданских самолетов произведение фактического объема продаж за весь ЖЦИ и первоначально объявленной цены, как правило, не покрывало бы начальных инвестиций в НИОКР и ТПП. И только благодаря инфляции цены самолетов повышались по мере реализации проектов (в отличие от предположений модели (1.8)), и номинальная, т.е. исчисленная в текущих ценах, выручка за весь ЖЦИ превысила затраты. Так или иначе, частного инвестора трудно привлечь подобной перспективой возврата вложений. Кроме того, характерный для отрасли стратегический горизонт планирования (порядка 20–30 лет и более) многократно превышает горизонт планирования, присущий частному бизнесу.

Описанные особенности авиастроительного бизнеса (а также некоторые другие риски, подробно описанные в последующих главах) объясняют, почему его развитие исключительно на основе частной инициативы, без государственной поддержки, практически невозможно. Поэтому во всех экономически развитых странах, обладающих авиационной промышленностью – в США, ЕС и др. – отрасль функционирует под контролем и при поддержке государства, даже если авиастроительные компании являются частными. Примечательна история становления западноевропейского консорциума Airbus Industry, который, несмотря на неизбежные проблемы, занимает в мире лидирующие позиции в сфере гражданского авиастроения. При создании первой модели Airbus Industry – A-300 – доля государственных субсидий в общем объеме затрат на разработку и освоение серийного производства составляла 100 %, и снизилась до 60 % лишь при создании авиалайнеров A-330 и A-340, когда предприятие уже занимало прочные позиции на рынке магистральных самолетов (подробнее см. [62]). При этом и правительство США активно поддерживает компанию Boeing[1]. Приведем цитату из источника [120]: «В форме займов на постройку нового авиалайнера Airbus A-380 у правительств ряда европейских стран получены 3,7 млрд долларов, выплачивать которые полностью компания обязана только в случае коммерческого успеха проекта. Кроме того, европейскими правительствами Airbus предоставлены налоговые льготы и субсидии в размере 1,7 млрд долларов на модернизацию инфраструктуры. Airbus также пользуется разработками в рамках исследовательских аэрокосмических программ Евросоюза. Что касается компании Boeing, то для постройки новейшего авиалайнера Boeing-787 штат Вашингтон предоставил компании налоговые льготы на общую сумму 3,2 млрд долларов». Т.е. государственной поддержкой ведущие зарубежные авиастроительные компа-

[1] Следует иметь в виду, что, в силу особенностей организационной структуры зарубежного авиастроения, эти компании носят не национальный, а ярко выраженный транснациональный характер (многие подразделения или субподрядчики Boeing находятся в Европе, а субподрядчики Airbus Industry – в США), что не позволяет однозначно определять описанную практику как “поддержку отечественных производителей”. В то же время, российская наукоемкая промышленность пока не интегрирована в мировую столь глубоко, и в принципе не может рассчитывать на аналогичный объем помощи зарубежных правительств.

нии активно пользуются не только на этапе становления, но и в настоящее время. Помимо общесистемных мер, направленных на поддержание развития авиастроения как отрасли, промышленная политика развитых стран мира включает в себя широкий арсенал протекционистских мер, способствующих выигрышу национальной авиационной промышленности в глобальной конкурентной борьбе. В настоящее время правила Всемирной торговой организации (ВТО) серьезно ограничивают размеры прямой государственной помощи гражданскому авиастроению, но американские и европейские компании и правительства успешно обходят эти ограничения следующим образом. Существенная часть государственных субсидий поступает в рамках оборонных программ. В свою очередь, практически все зарубежные авиастроительные компании являются многопрофильными, т.е., выпускают продукцию как военного, так и гражданского назначения. Результаты оборонных НИОКР в авиастроении, как правило, имеют двойное назначение, и в дальнейшем свободно используются для повышения технического уровня гражданских самолетов и авиадвигателей [121]. Также в гражданском секторе зарубежного авиастроения используются производственные мощности и квалифицированные кадры, фактически подготовленные в рамках программ военного назначения. В несколько большей степени эта стратегия доступна компании Boeing, чем Airbus Industry, в силу большей доли военных программ в структуре бизнеса.

Примечательно, что на протяжении нескольких десятилетий конкурирующие авиастроительные компании (американская Boeing и западноевропейская Airbus Industry, канадская Bombardier и бразильская Embraer), а также правительства соответствующих стран обвиняют друг друга в недобросовестной конкуренции, использовании недопустимых инструментов государственной поддержки и т.д. Однако эти заявления носят лишь декларативный характер и сами являются орудием конкурентной борьбы. Как обосновано в данном разделе, существуют объективные, фундаментальные экономические факторы, определяющие необходимость функционирования авиационной промышленности под государственным контролем и при постоянной государственной поддержке. В последующих главах некоторые инструменты государственной промышленной политики в области авиастроения будут обсуждаться подробнее.

## 1.2. Показатели эффективности работы авиационной промышленности

*Экономической эффективностью* называется измеренное тем или иным образом соотношение результатов и затрат, «входа» и «выхода». Если «выход» – это выпуск продукции, выручка, прибыль и т.п., то «входом» правомерно считать *потенциал* предприятий и отраслей – производственный, кадровый, научно-технический, и т.д. Эффективность

использования различных составляющих потенциала измеряется рядом удельных показателей (соотношений результатов работы и объема потенциала). Одним из важнейших в их числе является средняя производительность труда. Она определяется как отношение выпуска продукции к количеству занятых. В табл. 1.1, составленной по данным официальных статистических сборников [150, 151, 166], приведены данные за 2002 г. о численности персонала, в т.ч. производственных рабочих, трех основных подотраслей авиационной промышленности США – самолетостроения, авиационного двигателестроения и производства компонент летательных аппаратов (далее – ЛА). Также приведены значения выручки и некоторых составляющих затрат (в млн долл. США, в ценах соответствующего года).

*Таблица 1.1*

Некоторые производственно-экономические показатели самолетостроения и авиационного двигателестроения США в 2002 г.

| Показатель \ подтрасль | самолетостроение | двигателестроение | производство компонент |
|---|---|---|---|
| Число занятых | 174 669 | 72 284 | 99 369 |
| *в т.ч., производственных рабочих* | 79 190 | 40 571 | 52 996 |
| Общая выручка | 64 355 | 24 246 | 20 772 |
| Фонд оплаты труда | 9 786 | 4 113 | 5 306 |
| *в т.ч., производственных рабочих* | 3 812 | 1 935 | 2 612 |
| Неденежные компенсации и льготы | 3 278 | 1 285 | 1 731 |
| Материальные затраты | 34 768 | 11 629 | 7 262 |

Если соотнести выручку и численность занятых, можно оценить среднюю выручку, приходящуюся на 1 работника. Согласно приведенным данным, в 2002 г. в США она составляла:

- в самолетостроении – около 368 тысяч долл. на человека в год;
- в двигателестроении – около 335 тысяч долл. на человека в год;
- в производстве компонент – около 209 тысяч долл. на человека в год.

Строго говоря, выручка не совсем корректно отражает результаты работы предприятий и отраслей, поскольку в стоимость продукции входит и стоимость потребленных сырья, материалов, полуфабрикатов. Эта стоимость может быть значительной, поскольку авиастроение является лишь финальным звеном множества производственных цепочек в различных отраслях – металлургии, химической промышленности, приборостроении и т.д. Кроме того, продукция одних предприятий авиастроения может использоваться другими предприятиями отрасли в качестве покупных комплектующих изделий. Например, самолетостроение, очевидно, закупает авиадвигатели и компоненты ЛА в качестве комплектующих из-

делий. Поэтому при расчете суммарных показателей выручки не исключен т.н. *двойной счет*. Более корректно использование показателя, называемого *добавленной стоимостью*, и равного разности выручки и *материальных затрат*, т.е. стоимости покупных сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий, а также услуг производственного назначения. На основе вышеприведенных статистических данных можно оценить добавленную стоимость – как в абсолютном выражении, так и в расчете на одного работника. В 2002 г. в США добавленная стоимость на 1 работника составляла:

- в самолетостроении – около 169 тысяч долл. на человека в год;
- в двигателестроении – около 175 тысяч долл. на человека в год;
- в производстве компонент – около 136 тысяч долл. на человека в год.

При этом средняя производительность труда в экономике США, по данным Международной организации труда (МОТ), составляла в 2002 г. около 60 700 долл. в год на человека. Это означает, что успешно работающая авиационная промышленность обеспечивает очень высокую производительность труда, даже по меркам весьма эффективной экономики.

Сумма добавленных стоимостей, созданных на территории страны за отчетный период, называется *валовым внутренним продуктом* (ВВП), который является одним из основных макроэкономических показателей экономики страны. Эффективность работы отрасли с позиций национальной экономики и вклада, вносимого ею в ВВП, косвенно отражает *коэффициент материальных затрат*, равный отношению материальных затрат к выручке. Его высокое значение (близкое к 1) означало бы, что даже при высоких объемах выручки, результативность работы отрасли не очень высока, так как стоимость выходной продукции незначительно превышает стоимость входной продукции. Однако в авиационной промышленности этот коэффициент существенно ниже 100 %. Согласно данным, приведенным в табл. 1.1, в 2002 г. в авиационной промышленности США он составлял:

- в самолетостроении – 54 %;
- в двигателестроении – 48 %;
- в производстве компонент – 35 %.

Таким образом, эффективно работающая авиационная промышленность характеризуется высокой добавленной стоимостью и вносит существенный вклад в ВВП, наряду с другими наукоемкими и высокотехнологичными отраслями промышленности.

На рис. 1.4 наглядно представлены значения средних выручки и добавленной стоимости, приходящихся на одного работника; средней зарплаты всех работников и средней зарплаты производственных рабочих в основных подотраслях авиационной промышленности США в 2002 г.

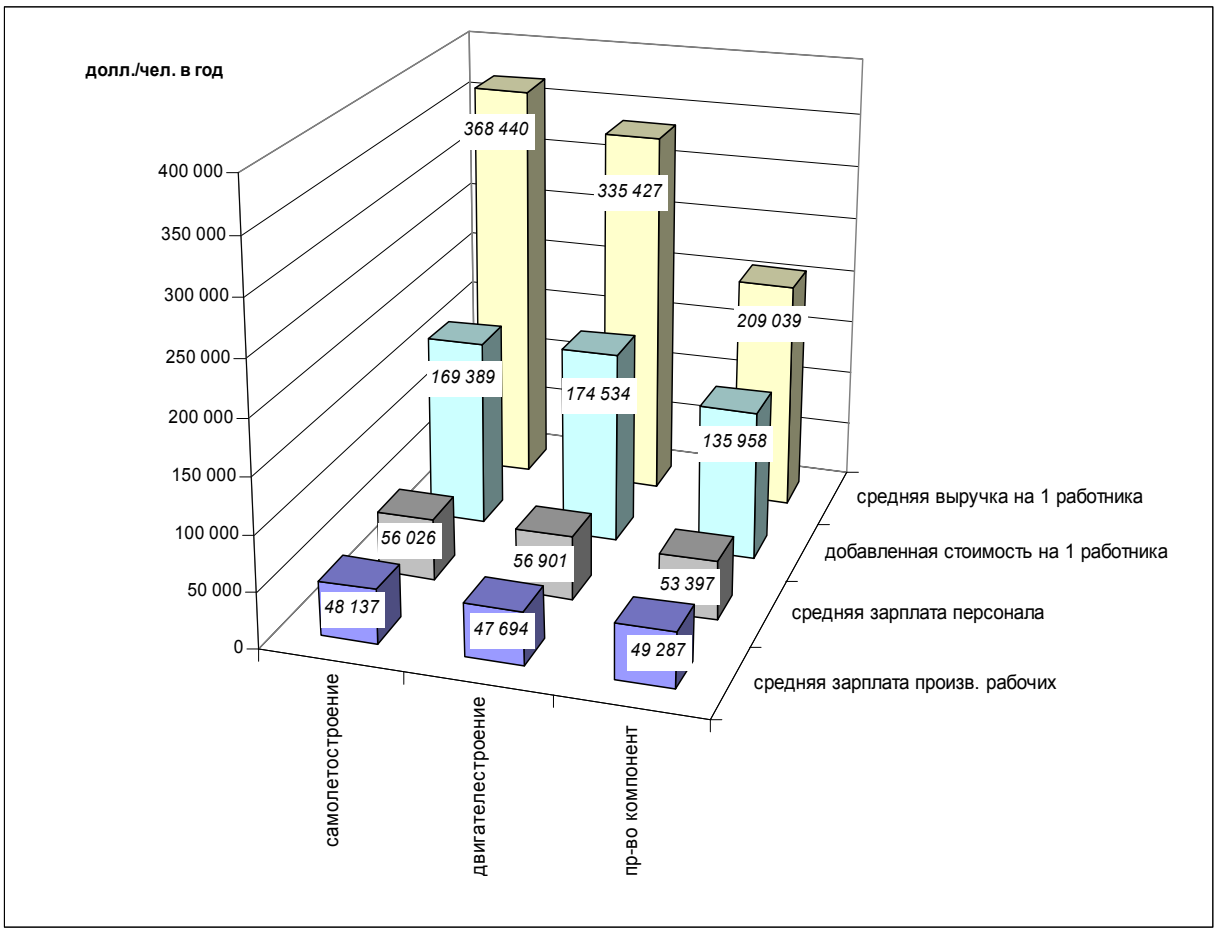


Рис. 1.4. Средняя производительность труда и средняя заработная плата в авиационной промышленности США в 2002 г.

Естественно, средняя заработная плата заведомо ниже средней производительности труда в силу наличия, помимо фонда оплаты труда, иных статей затрат, необходимости обеспечения прибыли предприятия, и т.п. Приведенные статистические данные по США за 2002 г. показывают, что она составляла лишь 15–26 % выручки на одного работника и 33–39 % добавленной стоимости. Однако даже такая доля зарплаты в добавленной стоимости, достигаемая в высокотехнологичной промышленности, существенно выше, чем в прочих отраслях экономики. Необходимо еще учесть относительно высокую долю неденежных льгот и компенсаций, которые составляют 31–33 % от фонда денежной заработной платы, см. табл. 1.1. Авиастроение и другие наукоемкие и высокотехнологичные отрасли промышленности – не столько высокоприбыльные, сколько «зарплатоемкие», т.е. обеспечивают высокий уровень оплаты труда относительно большому количеству квалифицированных работников. В других отраслях, в особенности, в сырьевых, наблюдается другое соотношение зарплаты и прибыли. Причины – в высокой *специфичности* (подробнее см. [63]) человеческого капитала, которым обладают высококвалифицированные рабочие, инженеры и ученые. Таким образом, развитие наукоемкой промышленности, в ча-

стности, авиастроения целесообразно и с социальной точки зрения. Обеспечивая достойное вознаграждение знаний и умений квалифицированных работников, высокотехнологичные отрасли способствуют развитию человеческого капитала страны. Т.е. они не просто обеспечивают быстрый экономический рост – они повышают качество этого роста. Именно это стратегическое соображение было решающим для тех стран мира, в которых национальное авиастроение появилось сравнительно недавно, причем, не столько за счет частной инициативы бизнеса, сколько благодаря государственной поддержке. Наиболее известные примеры – образование консорциума Airbus Industry в Западной Европе и компании Embraer в Бразилии. В настоящее время происходит становление самостоятельной авиационной промышленности КНР и Индии – разумеется, при ведущей роли государства.

Как известно, в России авиационная промышленность находится в кризисном состоянии на протяжении уже почти двух десятилетий. Особенно глубок кризис гражданского авиастроения. В 1990 г. советской авиационной промышленностью было выпущено около 500 самолетов и 215 вертолетов, в т.ч., соответственно, около 400 и 122 – военного назначения [172, 175, 184]. По состоянию на 1990 г. в отрасли работало около 1,5 млн человек. При распаде СССР Россия унаследовала около 85 % мощностей советского авиастроения. Но в 1990-е гг. производство гражданской авиатехники стало, фактически, штучным, подробнее см. табл. 1.2. Обвальное сокращение пассажирооборота и объема перевозок российской гражданской авиации, произошедшее в начале 1990-х гг. (подробнее см. рис. 1.9, приведенный в п. 1.3), усугубилось тем, что с 1994 г. прекратилось государственное финансирование закупок гражданской авиатехники.

Табл. 1.2 составлена по информации Минпромэнерго и Минпромторга России, Федерального агентства по промышленности РФ, Счетной палаты РФ, по результатам обобщающих статистических исследований отраслевых экономистов и т.д. [65, 111, 172, 175, 184]. Необходимо учитывать, что в современной России отсутствует единая и общедоступная статистическая база данных о выпуске авиатехники, даже гражданской. Поэтому данные, приведенные в табл. 1.2, могут быть неполными, неточными и даже противоречивыми. Однако возможная неточность этих данных не влияет на качественные выводы о положении отрасли. Восстановительный рост объемов производства, который наблюдается с конца 1990-х гг., пока не позволил приблизиться к докризисным показателям даже по порядку величины. Нынешние объемы производства гражданской авиатехники в России почти на два порядка ниже показателей лидеров мирового авиастроения. Крупнейшие мировые производители гражданской авиатехники, компании Boeing (США) и Airbus Industry (ЕС) выпускают по 200–500 только магистральных пассажирских самолетов в год, см. рис. 1.5 (по данным [174, 177]).

*Таблица 1.2*

Производство магистральных и региональных гражданских самолетов в Российской Федерации и ряде стран СНГ в 1992–2008 гг.

| Тип изделий \ год | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ан-124 | 4 | 4 | 4 | | 1 | | | | 1 | | | | 2 | | | | |
| Ил-96-300, Ил-96Т | 1 | 1 | 4 | 1 | | | | 1 | 1 | | | 1 | 3 | | 2 | 2 | 1 |
| Ил-86 | 6 | 5 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | |
| Ил-62М | 7 | 2 | | 2 | 1 | | | 1 | 1 | | | | 1 | | | | |
| Ил-76 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 |
| Ту-204 | 4 | 5 | 2 | 1 | 1 | | 3 | 2 | 3 | | 2 | 2 | | | 2 | 3 | 7 |
| Ту-214 | | | | | | | | | | | 2 | 2 | 1 | | 2 | | 2 |
| Ту-154М | 39 | 37 | 10 | 11 | 1 | 3 | 5 | 1 | | | 1 | 3 | | | 1 | 1 | |
| Ту-334 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| Як-42, Як-42Д | 20 | 18 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | | | 3 | | | | | |
| SSJ-100 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| Ан-140 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | |
| Ил-114 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | |
| Ан-38 | | | | 1 | | 4 | 4 | 1 | 5 | | 3 | 1 | 2 | | | | |
| Ан-74 | | | | | | | | | | | 2 | | 1 | | | | |
| С-80 | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | |
| Бе-200 | | | | | | | | 1 | 3 | | | 2 | 2 | | | | |
| Итого | | | | | | | | | | 14 | | | 12 | 8 | 9 | 9 | 13 |

*Примечание:* в 2001 и 2005 гг. указаны только суммарные объемы выпуска самолетов соответствующих классов.

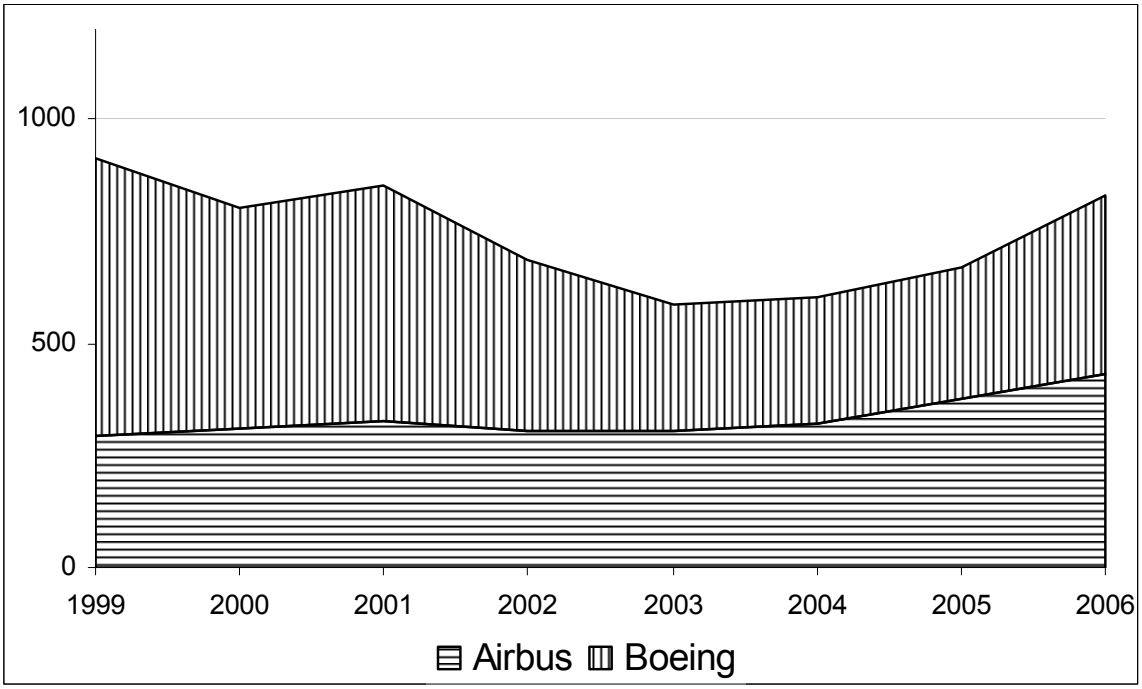


Рис. 1.5. Динамика поставок магистральных пассажирских самолетов в 1999–2006 гг. компаниями Boeing и Airbus Industry

В военном секторе российской авиационной промышленности спад производства был не столь глубоким, несмотря на полное отсутствие закупок новой авиатехники российскими ВВС на протяжении ряда лет [2]. Боевая авиатехника советского производства успешно прошла проверку в десятках войн и конфликтов, заработав тем самым авторитет, не утраченный окончательно и по сей день. Основными рынками сбыта российской боевой авиатехники стали экспортные рынки. Характерные объемы производства составляли несколько десятков боевых самолетов в год. Аналогичная ситуация имеет место в российском вертолетостроении. Однако массовый выпуск гражданской авиатехники, в особенности – магистральных пассажирских самолетов – в России практически прекратился. Аналогичная ситуация – в бывших республиках СССР, в которых также размещаются авиастроительные предприятия (прежде всего, это Украина и Узбекистан). Разрушение кооперационных связей (как с зарубежными предприятиями, так и внутри России) также существенно подорвало потенциал авиационной промышленности. Произошедший в 1990-х гг. обвальный спад объемов производства гражданской авиатехники затронул не только серийные заводы, но также конструкторские бюро и научно-исследовательские институты отрасли, см. рис. 1.6[1]. Это привело к значительной деградации научно-технического потенциала отрасли.

Низкий уровень выпуска продукции и выручки определяет низкую эффективность использования трудовых ресурсов. На рис. 1.7 приведены

[1] По данным Счетной Палаты РФ [111].

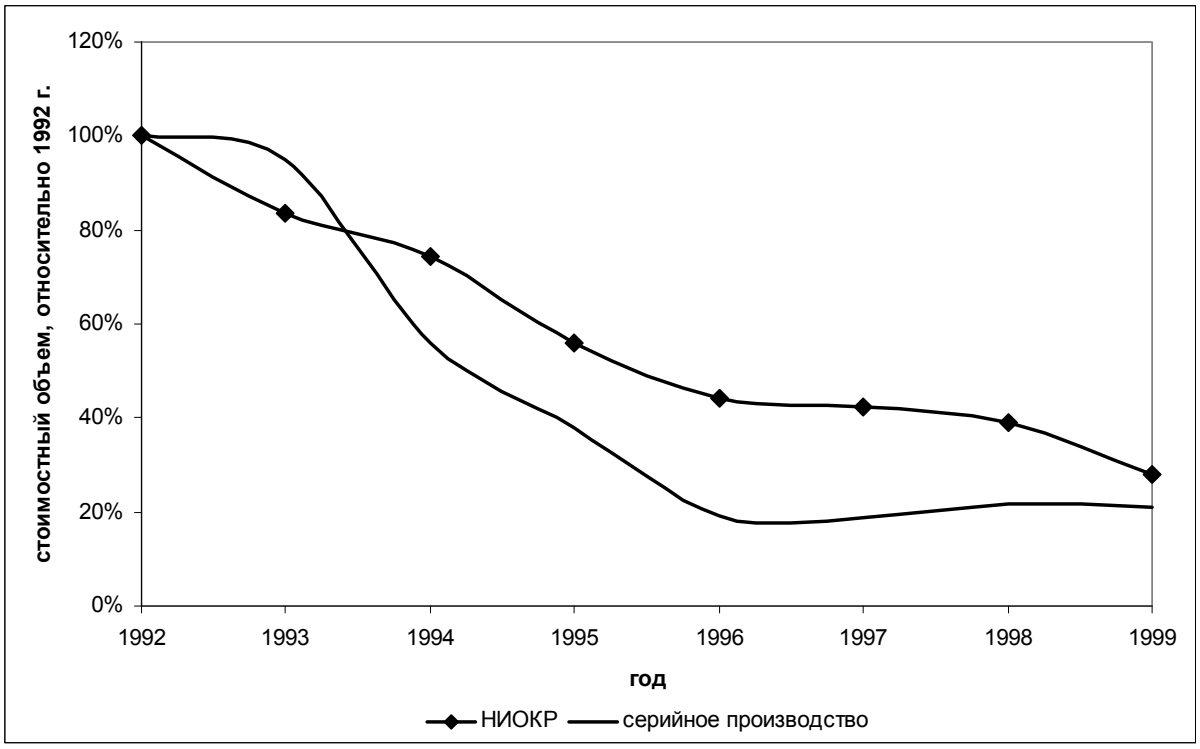


Рис. 1.6. Стоимостные объемы выпуска гражданской авиатехники и НИОКР в обеспечение создания гражданской авиатехники в РФ, по отношению к 1992 г.

значения средней выручки, приходящейся на одного работающего, на некоторых российских предприятиях авиационного двигателестроения в 2007 г.[1]

Из рисунка можно видеть, что существует значительный разброс производительности труда между предприятиями отрасли. На относительно успешных, по российским меркам, предприятиях, выручка на одного работающего превышала 1 млн руб. на человека в год. Однако даже этот уровень несопоставим с производительностью труда в зарубежной авиационной промышленности. Сравнение рис. 1.7 и данных табл. 1.1 показывает, что производительность труда в российской авиационной промышленности на порядок[2] и более ниже, чем за рубежом. Сравнение добавленной стоимости, приходящейся на одного работающего, дает аналогичные результаты, поскольку коэффициент материальных затрат и на российских предприятиях составляет около 50 %, как и в зарубежном авиастроении. В свою очередь, средняя зарплата персонала заведомо ниже средней производительности труда. Низкая производительность труда ограничивает возможности установления конкурентоспособной (хотя бы в условиях данного региона) заработной платы, привлечения (или хотя бы удержания) высококвалифицированных кадров. Т.е. низкая эффективность использования

[1] В расчетах использовались данные, официально опубликованные в годовых отчетах предприятий, являющихся открытыми акционерными обществами (ОАО).

[2] При пересчете долларов в рубли по паритету покупательной способности. Пересчет по текущему биржевому курсу дает еще большее различие не в пользу отечественных предприятий.

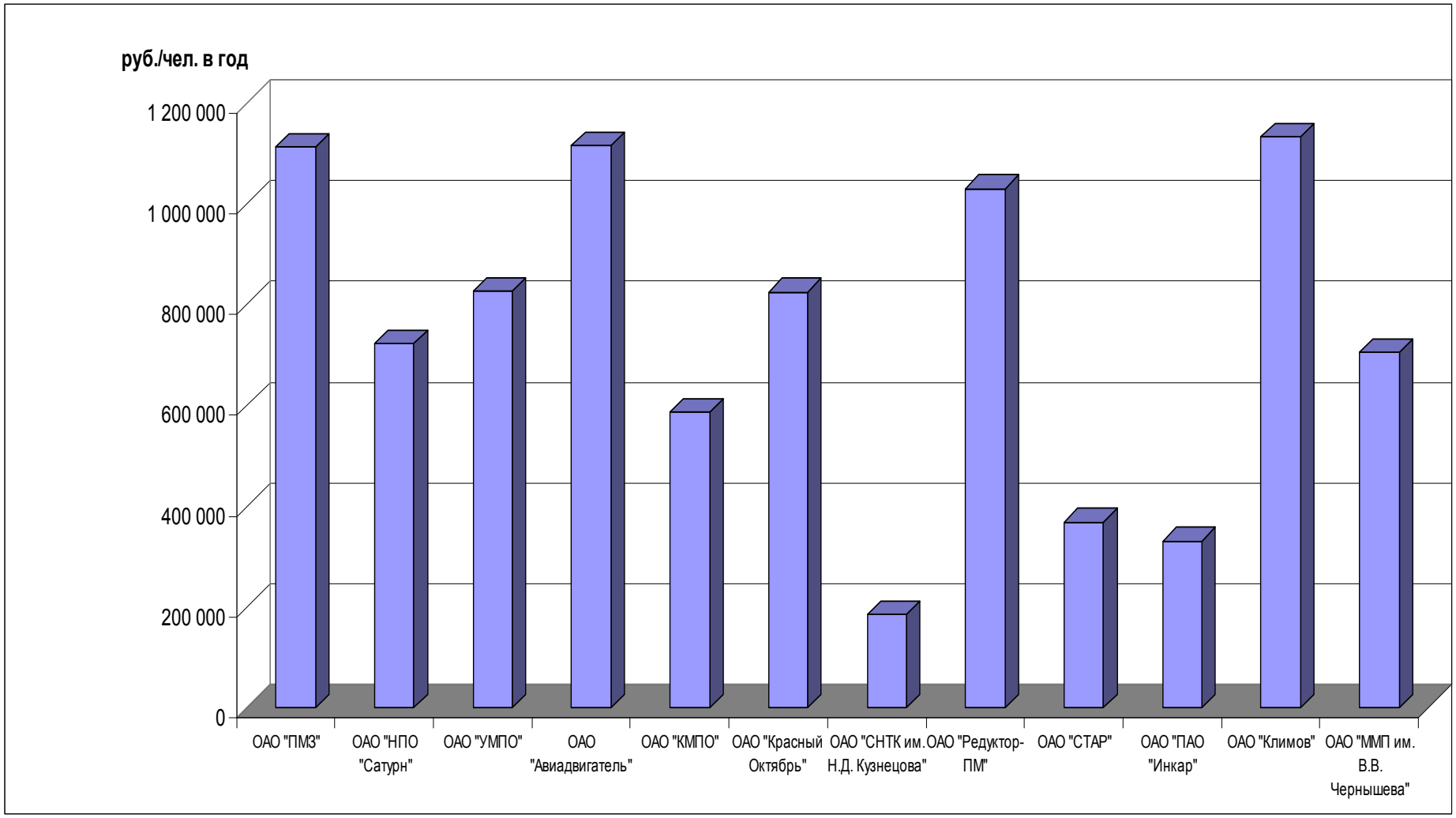


Рис. 1.7. Средняя выручка на одного работающего на предприятиях российского авиационного двигателестроения в 2007 г.

кадрового потенциала блокирует возможности его воспроизводства. Важно подчеркнуть, что основная причина столь низкой производительности труда в российском авиастроении – не в использовании несовершенных технологий разработки и производства авиатехники (хотя и в этой сфере за кризисный период накопилось значительное отставание), а именно в катастрофическом снижении выпуска продукции и выручки, притом, что количество предприятий и работников не сократилось пропорционально. Численность работающих в отрасли по сравнению с советским периодом упала приблизительно втрое [111]. Помимо количественных показателей, необходимо учитывать качественный состав персонала. С одной стороны, образовательный уровень работников российского авиастроения не уступает таковому в США, ЕС и др. С другой стороны, по данным официального статистического обследования, средний возраст работников большинства российских авиастроительных предприятий, вне зависимости от категории (производственные рабочие, специалисты, руководители), близок к 50 годам, причем, значения для различных предприятий являются весьма близкими. Поскольку в высокотехнологичных и наукоемких отраслях именно кадровый потенциал играет решающую роль, его деградация и потеря являются самой серьезной угрозой развитию российской авиационной промышленности. По данным статистических исследований [155], за год простоя теряется около 40 % накопленного опыта самолетостроительных компаний. Учитывая длительность кризисного периода в российском авиастроении, остается готовиться, фактически, заново создавать отечественную авиационную промышленность, но уже на новом технологическом уровне. При этом особенно важно не ошибиться в определении долгосрочных ориентиров развития отрасли, на что и нацелена данная работа.

Чрезвычайно низка эффективность использования и прочих составляющих потенциала отрасли. Даже с учетом неизбежного выбытия оборудования и крайне низкого коэффициента его обновления на протяжении последних двух десятилетий, не обеспечивается его экономически эффективная загрузка. Лишь для некоторых видов производственного оборудования загрузка достигает 40–60 %, а для большинства видов производственного и, в особенности, экспериментально-стендового оборудования она еще ниже [111, 175, 184]. Вопреки распространенному стереотипу, значительная часть станочного парка российских авиастроительных предприятий характеризуется небольшой степенью физического износа, в силу малой загрузки на протяжении длительного кризисного периода. В то же время, в мировой авиационной промышленности бурно идут процессы технологического перевооружения, внедряются новые технологии и материалы. Поэтому даже физически исправное оборудование выпуска конца 1980-х гг., как правило, морально устарело. Российским авиастроительным предприятиям требуется не просто физическое воспроизводство парка оборудования, но его качественное обновление. Процесс технологического

перевооружения не сводится лишь к закупке нового оборудования. В общем объеме инвестиций зарубежных авиастроительных компаний все б**о**льшая доля приходится на нематериальные активы – патенты, программное обеспечение и т.п., см. [150, 151, 166]. Очевидно, российским предприятиям потребуется масштабная переподготовка кадров (и, вероятно, не столько переучивание имеющихся, сколько подготовка новых квалифицированных работников, в т.ч. за рубежом). Однако низкие значения выпуска и выручки не позволяют большинству предприятий отрасли реализовать комплексные программы технологического перевооружения за счет собственных средств.

Малый выпуск продукции определяет и низкую эффективность использования пассивной части основных фондов – зданий, сооружений и т.п. На рис. 1.8 изображена диаграмма, иллюстрирующая для ряда российских двигателестроительных предприятий (предоставивших необходимые данные) отношение валовой выручки от реализации продукции за 2007 г. к площади земельных участков производственного назначения[1], занимаемых предприятием.

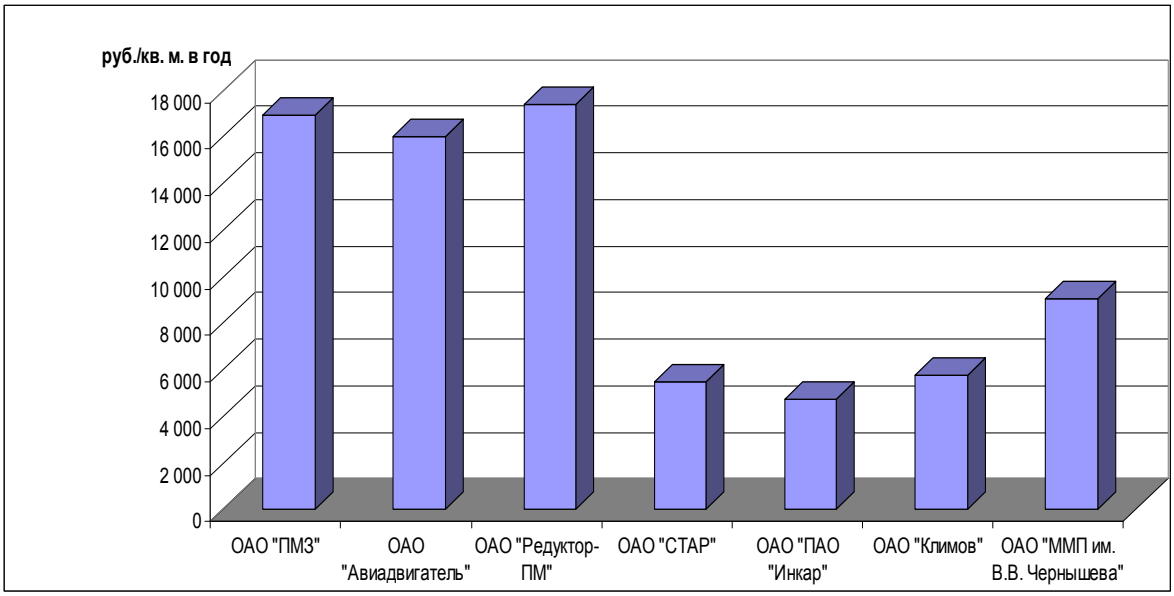


Рис. 1.8. Отношение выручки предприятий к занимаемой площади в 2007 г.

Низкое значение данного показателя свидетельствует о недостаточно эффективном использовании занимаемых предприятиями площадей. В рыночных условиях занимаемые площади (особенно если они расположены в городах с высокими ценами земли или квадратного метра зданий и высокими ставками арендной платы) должны приносить отдачу с единицы площади не меньше, чем альтернативные способы их использования. Если это

[1] Земельные участки и площади иного назначения, на которых размещены объекты соцкультбыта, исключаются из рассмотрения, поскольку экономическая эффективность их использования оценивается гораздо сложнее.

требование не будет выполняться, продолжение функционирования авиастроительных предприятий на занимаемых площадях возможно лишь благодаря прямой государственной поддержке – не только финансовой, но и силовой. Недостаточно эффективное использование площадей и территорий создает угрозу экономической безопасности функционирования авиастроительных предприятий в конкурентной рыночной среде, делает их весьма привлекательными объектами для рейдерских захватов (и соответствующие примеры уже имеются).

Поскольку производительность труда равна отношению выручки к численности занятых, повысить ее можно двумя способами:

1) сократить численность персонала;

2) повысить выпуск востребованной на рынке продукции.

Аналогичные возможности («сократить знаменатель» или «увеличить числитель») действуют и в отношении прочих составляющих потенциала предприятий – парка оборудования, занимаемых площадей и т.п. Весьма распространенный стереотип гласит, что существующая численность работников российской авиационной промышленности (даже с учетом ее неизбежного сокращения за кризисные годы) является избыточной, и необходимо дальнейшее сокращение числа занятых в отрасли. Разумеется, восстановление численности занятых на уровне, достигнутом к моменту распада СССР (около 1,5 млн чел.), невозможно и нецелесообразно при современном уровне развития технологий разработки и производства авиатехники. Например, во всей аэрокосмической промышленности США, включающей в себя гражданское и военное авиастроение, двигателе- и агрегатостроение, а также космическое машиностроение, и контролирующей около половины мирового рынка гражданской авиатехники, в 2002 г. было занято около 620 тысяч человек [150, 151, 166]. Однако радикальное сокращение численности персонала предприятий является неприемлемым не только с социальной, но и с экономической точки зрения, поскольку в высокотехнологичных отраслях восстановление кадрового потенциала (в случае его утраты, которая, к сожалению, уже частично произошла) потребует неприемлемо больших финансовых и временны**х** затрат.

Кроме того, возникает принципиальный вопрос: до какого уровня необходимо проводить сокращение? Приведение численности персонала, занимаемых предприятиями площадей и др. в соответствие нынешним – по существу, штучным выпускам авиатехники – бессмысленно. Как показано выше, авиастроительное производство может быть экономически эффективным только при условии обеспечения значительных (порядка нескольких сотен или даже тысяч изделий одного типа за весь ЖЦИ) объемов выпуска. Постоянные затраты на разработку и подготовку производства новых типов изделий достигают нескольких миллиардов долларов, и должны распределяться на большое количество изделий – иначе средняя себестоимость будет неприемлемо высокой. Кроме того, в масштабах националь-

ной авиационной промышленности, помимо затрат отдельных авиастроительных компаний на ОКР, необходимо учитывать и значительные затраты на фундаментальные НИР в области авиации. Они необходимы для создания конкурентоспособной авиатехники в долгосрочной перспективе. Следует особо подчеркнуть, что для удержания лидерства в области авиации, для сохранения технологической самостоятельности страны необходимы исследования во всем спектре авиационных технических дисциплин – в аэродинамике, газовой динамике, теории горения и теплообмена, динамике полета и управлении движением ЛА, прочности ЛА, авиационной акустике и экологии, и т.п., подробнее см. [24, 51, 144, 165]. Воспроизводство фундаментального научного задела в авиастроении в полной мере реализуют лишь немногие мировые центры авиастроения (США, объединенная Европа), и принципиально важно, чтобы Россия осталась в их числе. Затраты на фундаментальные НИР включают в себя не только оплату труда научных работников, но также стоимость создания и поддержания дорогостоящей экспериментальной базы (аэродинамических труб, испытательных аэродромов и т.п.). Учет этого фактора нашел отражение в названии национального плана США в области авиации [165]: «…and Related Infrastructure», т.е. «…и соответствующая инфраструктура». Описанные затраты относятся к постоянным издержкам, т.е. не зависят от объемов выпуска авиатехники, и даже от количества авиастроительных компаний и числа выпускаемых ими моделей. Достижение результата фундаментальных исследований потребует одинаковых затрат вне зависимости от того, будет ли этот результат применен на одном типе авиатехники или на нескольких десятках типов, будет ли эта продукция выпущена в объеме 100 или 10 000 единиц, и т.д. Поэтому фундаментальные исследования, как правило, проводятся под контролем государства и за государственный счет (при возможном участии заинтересованных фирм), и в интересах всей национальной авиационной промышленности, а не отдельных компаний. Также необходимо учитывать затраты на воспроизводство кадрового потенциала отрасли в системе образования, включающей в себя вузы и средние специальные учебные заведения. Перечисленные «общенациональные» постоянные затраты на развитие авиастроения могут достигать нескольких миллиардов долларов в год. Поэтому при малых объемах выпуска авиатехники в стране, средние постоянные затраты, приходящиеся на одно изделие, будут неприемлемо высокими. Этот фактор усиливает вывод о бесперспективности «пропорционального» сокращения потенциала российского авиастроения.

Таким образом, единственно возможный путь обеспечения высокой эффективности работы российской авиационной промышленности – восстановление массового выпуска востребованной на рынке наукоемкой продукции.

## 1.3. Динамика совокупного объема продаж гражданской авиатехники: прогнозирование и управление

Основной причиной катастрофического спада производства в отечественной авиационной промышленности, наступившего в 1990-е гг. и не преодоленного до сих пор, стала низкая конкурентоспособность продукции в условиях открытого рынка. Поиску путей ее повышения посвящен целый ряд работ, в т.ч. монография автора [78]. Однако даже при условии достижения высокого качества и конкурентоспособности продукции, устойчивое развитие гражданского авиастроения отнюдь не гарантировано, о чем свидетельствует, в т.ч., зарубежный опыт. Даже совокупный спрос на гражданскую авиатехнику чрезвычайно нестабилен. Причины этого также кроются в отраслевой специфике авиационной промышленности и её важнейшего партнера – гражданской авиации.

### *1.3.1. Связь спроса на авиаперевозки и выпуска воздушных судов*

Авиационная промышленность и гражданская авиация – это две независимые отрасли, первая из которых выпускает и ремонтирует авиатехнику, а вторая – эксплуатирует ее, перевозя пассажиров и грузы. Однако выработать научно обоснованные подходы к решению экономических проблем, с которыми столкнулась в последние годы не только российская, но и мировая авиация, можно лишь на основе комплексного представления об авиации как системе взаимосвязанных отраслей, имеющих общие интересы. Анализируя перспективы развития гражданского авиастроения, следует исходить из того, что основным фактором, определяющим объемы финансирования производства, эксплуатации и разработки авиатехники, является спрос на авиаперевозки. Его динамика определяет будущее гражданского сектора авиационной промышленности. Согласно широко известному высказыванию, «деньги на самолеты берутся, в конечном счете, из кармана авиапассажиров».

Рассмотрим динамику пассажирских авиаперевозок и производства пассажирских самолетов, исходя из того, что авиакомпании в состоянии приобрести необходимое им количество воздушных судов, т.е. что спрос пассажиров на авиаперевозки полностью трансформируется в платежеспособный спрос перевозчиков на авиатехнику. В общем случае, спрос авиакомпаний на новые воздушные суда может быть обусловлен тремя факторами:

1) расширение парка и увеличение провозных мощностей для удовлетворения растущего спроса на авиаперевозки;
2) замена авиатехники, выработавшей свой ресурс (т.е., устаревшей физически);
3) качественное обновление парка и списание морально устаревшей авиатехники (даже если она имеет остаток ресурса).

Вначале будем считать, что морального старения нет (этот феномен подробно изучен в следующей главе), и рассмотрим первые две составляющие спроса на авиатехнику. Построим упрощенную модель совокупного спроса на новые воздушные суда при следующих допущениях:

- авиастроение рассматривается как единое целое, конкуренция между отдельными предприятиями (в реальности, чрезвычайно жесткая) не учитывается;
- изменения спроса на авиаперевозки и уровня мощностей авиационной промышленности задаются экзогенным образом;
- все воздушные суда – однотипные;
- условия эксплуатации парка однородны;
- распределение воздушных судов в парке по остатку ресурса – равномерное.

Введем следующие условные обозначения:

$d(t)$ – пассажирооборот в году $t$, пассажиро-километры в год;

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

$m$ – пассажировместимость одного воздушного судна, мест;

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

$\eta$ – 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:

$$N_{\text{потреб}}(t) = \frac{d(t)}{\eta \cdot v \cdot k \cdot m}. \qquad (1.9)$$

Если $N_{\text{потреб}}(t) > N(t)$, в году $t$ имеет место дефицит провозных мощностей. Если же, напротив, $N_{\text{потреб}}(t) < N(t)$, 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 $N_{\text{Э}}(t)$ можно определить, в общем случае, следующим образом:

$$N_{\text{Э}}(t) = \min\left\{N_{\text{потреб}}(t); N(t)\right\}. \qquad (1.10)$$

Пусть $T$ – назначенный ресурс изделия, выраженный в летных часах. Тогда эксплуатируемые изделия будут в среднем вырабатывать за год долю ресурса, равную $\frac{\eta}{T}$. Следовательно, количество изделий, выработав-

ших в году $t$ свой ресурс и подлежащих списанию, может быть приближенно представлено в следующем виде:

$$q_{\text{спис}}(t) = \frac{\eta}{T} \cdot N_{\text{Э}}(t). \qquad (1.11)$$

Разумеется, это лишь приблизительная оценка. В реальных расчетах необходимо учитывать неравномерность распределения парка по срокам службы и остатку ресурса, а также неодинаковую интенсивность выработки ресурса.

Если авиакомпании не будут приобретать новых воздушных судов, численность их парка к следующему году сократится до $\left[N(t) - q_{\text{спис}}(t)\right]$. Необходимо оценить, достаточно ли этих провозных мощностей для удовлетворения ожидаемого спроса на перевозки. Обозначим $d_e(t+1)$ – ожидаемый авиакомпаниями в году $t$ уровень спроса на авиаперевозки в будущем году $t+1$. В простейшем случае, ожидания авиакомпаний могут быть *статическими*, т.е., $d_e(t+1) = d(t)$, хотя авиакомпании могут руководствоваться и другими ожиданиями, пользуясь теми или иными методами прогнозирования пассажирооборота. При неизменных значениях среднегодового налета $\eta$, рейсовой скорости $v$, пассажировместимости $m$ и коэффициента заполнения кресел $k$, потребная численность парка пропорциональна пассажирообороту. Тогда в будущем году $t+1$ потребуется следующее количество воздушных судов:

$$N_{\text{потреб}}(t+1) = \frac{d(t+1)}{\eta \cdot v \cdot k \cdot m} = \frac{d(t+1)}{d(t)} \cdot N_{\text{потреб}}(t). \qquad (1.12)$$

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

$$q^{\text{необх}}(t) = \max\left\{0;\ \frac{d_e(t+1)}{v \cdot \eta \cdot k \cdot m} + \frac{\eta}{T} \cdot N_{\text{Э}}(t) - N(t)\right\}. \qquad (1.13)$$

Если ожидания авиакомпаний относительно пассажирооборота являются статическими, то $d_e(t+1) = d(t)$, поэтому $N_{\text{потреб}}(t+1) = N_{\text{потреб}}(t)$. Следовательно, авиакомпании, формируя заказы на новую авиатехнику, будут лишь стремиться восполнить текущий дефицит провозных мощностей.

В будущем году численность парка воздушных судов примет следующее значение:

$$N(t+1) = N(t) - \frac{\eta}{T} \cdot N_{\text{Э}}(t) + q^{\text{постав}}(t), \qquad (1.14)$$

где $q^{\text{постав}}(t)$ – объем поставок новых воздушных судов авиастроительными предприятиями[1]. Он может быть выражен следующим образом:

$$q^{\text{постав}}(t) = \min\left\{q^{\text{необх}}(t); V(t)\right\}, \qquad (1.15)$$

где $V(t)$ – мощность предприятий авиационной промышленности в году $t$. Если авиационная промышленность не сможет удовлетворить спрос гражданской авиации, в году $t+1$ будет наблюдаться дефицит провозных мощностей.

Представленные выше соотношения (1.9–1.15) представляют собой упрощенную *модель баланса провозных мощностей* (далее БПМ) гражданской авиации. Задавшись начальными условиями, а также сценариями изменения спроса на авиаперевозки $d_e(t)$ и мощностей авиационной промышленности $V(t)$, можно прогнозировать изменение со временем следующих величин, характеризующих работу авиастроения и воздушного транспорта:

- фактической численности парка воздушных судов $N(t)$, потребной численности парка $N_{\text{потреб}}(t)$ и количества эксплуатируемых воздушных судов $N_{\text{Э}}(t)$;
- спроса на новую авиатехнику $q^{\text{необх}}(t)$ и фактического объема поставок авиатехники $q^{\text{постав}}(t)$, и т.д.

Здесь приведен лишь простейший вид модели БПМ. В реальных расчетах (см., например, [5, 97, 126, 127, 133, 134]) строятся детальные балансы для отдельных классов воздушных судов, учитывается реальное распределение изделий по остатку ресурса, интенсивности эксплуатации и др. Важно подчеркнуть, что модель БПМ предназначена только для прогнозирования совокупного спроса на авиатехнику. Поэтому ее применение для прогнозирования спроса на продукцию отдельных производителей некорректно. В условиях открытого рынка авиатехники нельзя применять эту модель и для прогнозирования спроса на продукцию национальной авиационной промышленности, т.к. авиакомпании могут сделать свой выбор и в пользу зарубежных производителей. Концепция баланса провозных мощностей лежит в основе многих методов прогнозирования совокупного спроса на продукцию авиационной промышленности. Однако некорректное применение модели БПМ может приводить к существенным ошибкам. Например, в работе [5] прогнозировалось списание (по причине выработки ресурса) парка отечественных магистральных самолетов к 2000–2001 гг. на 40..50 %, и к 2005 г. на 75..80 %, однако даже к концу 2009 г. списочный состав парка российских авиакомпаний не претерпел столь кардинальных изменений. Согласно тому же прогнозу, дефицит провозной способности должен был наступить, соответственно, по дальнемагистральным самолетам с 1999–2000 г., по среднемагистральным – с 2001–2003 г., по регио-

[1] Здесь предполагается, что срок исполнения заказов на новые воздушные суда не превышает одного года.

нальным – с 2001–2002 г. Согласно прогнозу Авиационного Сертификационного центра ГосНИИ ГА (см. [5]), сделанному в 1997 г., только до 2000 г. суммарная потребность в поставках пассажирских самолетов для поддержания существующих провозных мощностей российской гражданской авиации должна была составить около 300 машин. Из них 110 – магистральных самолетов, 115 – региональных и примерно 60 – грузовых. Однако фактические объемы закупок, даже с учетом лизинга и закупки на вторичном рынке зарубежных воздушных судов, были на порядок ниже.

Для понимания причин подобных расхождений необходимо проанализировать в рамках модели БПМ различные режимы функционирования системы «авиационная промышленность – гражданская авиация». Такой анализ проведен совместно с Т.М. Гусмановым в работе [45]. Если в году $t$ выполнялся баланс провозных мощностей, т.е., не было ни избытка, ни дефицита воздушных судов, то $N_{\text{потреб}}(t) = N(t) = N_{\text{Э}}(t)$. Обозначим ожидаемый в году $t$ темп роста спроса на авиаперевозки $\hat{d}_e(t) = \dfrac{d_e(t+1) - d(t)}{d(t)}$.

Спрос на авиаперевозки в будущем году $t+1$, ожидаемый в году $t$, можно выразить следующим образом:

$$d_e(t+1) = \left[1 + \hat{d}_e(t)\right] d(t). \tag{1.16}$$

Тогда совокупный спрос на воздушные суда примет следующее значение:

$$q^{\text{необх}}(t) = \max\left\{0; \left[1 + \hat{d}_e(t)\right] N(t) + \frac{\eta}{T} N(t) - N(t)\right\} = \max\left\{0; \left[\hat{d}_e(t) + \frac{\eta}{T}\right] N(t)\right\}. \tag{1.17}$$

Если $\hat{d}_e(t) > 0$, то спрос на воздушные суда, безусловно, будет положительным и может быть выражен следующей простой формулой:

$$q^{\text{необх}}(t) = N(t)\left[\hat{d}_e(t) + \frac{\eta}{T}\right]. \tag{1.18}$$

Фактически, только этот, наиболее благополучный режим – сбалансированный рост пассажирооборота и провозных мощностей – рассматривается во многих работах по прогнозированию спроса на авиатехнику, например, [5, 126]. Однако в современных условиях чаще реализуются более сложные режимы работы гражданской авиации и авиационной промышленности. В отдельные годы происходят существенные спады спроса на авиаперевозки. Распад СССР, резкое сокращение доходов большей части населения, прекращение дотирования авиаперевозок государством и т.п. привели к многократному сокращению пассажирооборота отечественной гражданской авиации, см. рис. 1.9[1]. С начала 2000-х гг. начался восстановительный рост, но пассажирооборот до сих пор не достиг докризисных показателей.

[1] График построен по данным Минтранса РФ, [185].

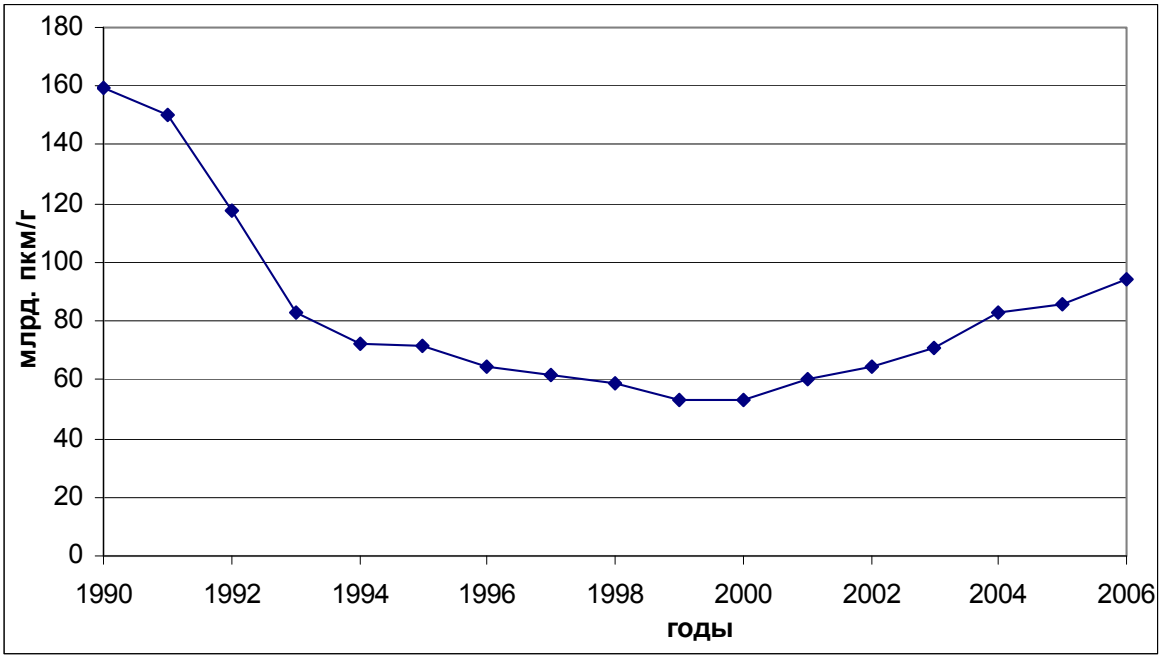


Рис. 1.9. Динамика пассажирооборота гражданской авиации СССР и РФ

В зарубежной гражданской авиации также происходили спады объемов перевозок, хотя и не столь глубокие, как в России. Так, например, после трагических событий 11 сентября 2001 г. пассажирооборот гражданской авиации США сократился почти на 9 %. Спад мирового пассажирооборота по итогам 2001 г. оказался существенно слабее (около 3 %), поскольку спад на североамериканском рынке частично был скомпенсирован ростом на рынках развивающихся регионов мира. На рис. 1.10[1] изображена динамика пассажирооборота мировой гражданской авиации в 1999-2006 гг.

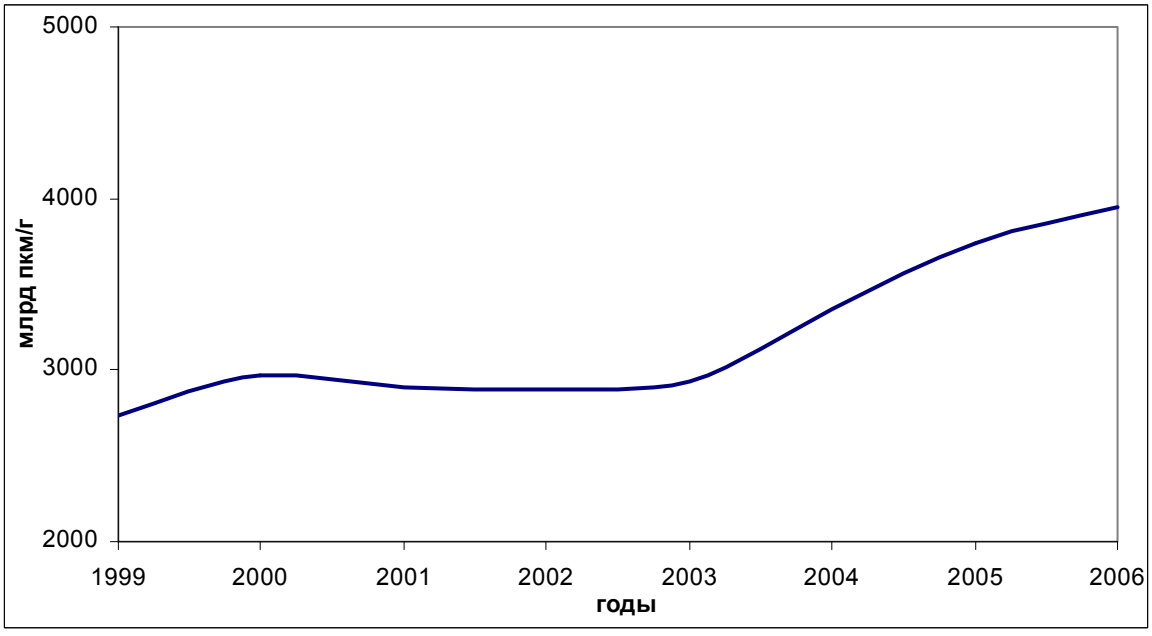


Рис. 1.10. Динамика пассажирооборота мировой гражданской авиации

[1] График построен по данным Международной организации воздушного транспорта – ИАТА, [182].

Предположим, что в текущий момент избытка провозных мощностей не наблюдается, но ожидается спад спроса на перевозки, причем, темп спада превысит долю воздушных судов, списываемых за год, т.е., $\hat{d}_e(t) < 0$ и $\left|\hat{d}_e(t)\right| \geq \frac{\eta}{T}$. Тогда спрос на авиатехнику может упасть до нуля. Для иллюстрации рассмотрим следующий пример. Примем следующие характерные величины среднегодового налета и ресурса воздушных судов: $\eta = 3\,000$, $T = 60\,000$. Тогда при равномерном распределении парка по остатку ресурса, ежегодно списывается приблизительно 5 % от общей численности эксплуатируемого парка. Если при этом в будущем году ожидается спад спроса на авиаперевозки на 5 % или более, приобретения новых воздушных судов не потребуется.

Более того, в полном согласии с моделью БПМ, авиакомпании могут не предъявлять спрос на новую авиатехнику даже в период роста объема перевозок. Это касается периодов восстановительного роста, который наблюдается в российской гражданской авиации с начала 2000-х гг., а в зарубежной – с 2002–2003 гг. После глубокого спада объема перевозок существующая численность парка воздушных судов еще долгое время остается избыточной. Так, в 2004 г. эксплуатируемый парк воздушных судов в гражданской авиации России составлял лишь 54 % от реестровой численности [37]. В результате спада объемов авиаперевозок, имевшего место после 2001 г., в развитых странах мира (прежде всего, в США) были выведены из эксплуатации и поставлены на длительное хранение сотни исправных воздушных судов гражданского назначения. По данным Американской транспортной ассоциации, с июня 2001 г. шесть крупнейших авиакомпаний США сократили свой парк на 700 самолетов, что составляет 20 % от их общей численности [3]. Избыток провозных мощностей может быть столь велик, что в течение нескольких лет авиакомпаниям для удовлетворения растущего спроса на перевозки, а также для замены списанных воздушных судов, достаточно будет лишь вводить в строй авиатехнику, выведенную из эксплуатации в период спада и поставленную на длительное хранение[1]. Например, крупнейшая авиакомпания мира American Airlines вообще не планирует закупки новых воздушных судов до 2013 г. [3, 105].

### *1.3.2. Стабилизация выпуска и выручки авиационной промышленности*

Представленная выше модель БПМ показывает, что даже относительно малые колебания спроса на конечные услуги – авиаперевозки – приводят к существенным изменениям спроса на фондообразующую продукцию – авиатехнику. Авиационная промышленность находится, по срав-

[1] Строго говоря, возможности безопасного ввода в строй этой авиатехники существенно ограничены ее сохранностью, которая не всегда обеспечивается авиакомпаниями должным образом. Поэтому не всегда правомерно рассматривать авиатехнику, выведенную из эксплуатации на длительный период, как возможный резерв провозных мощностей.

нению с гражданской авиацией, в более уязвимом положении, поскольку потребность в авиатехнике падает не только при падении объемов перевозок, но даже при сокращении темпов их роста. Подобные особенности формирования спроса присущи многим отраслям, выпускающим фондообразующую продукцию с длительным жизненным циклом – например, энергетическому машиностроению, станкостроению, судостроению, и т.п.

Для иллюстрации чувствительности авиационной промышленности к колебаниям объема перевозок рассмотрим следующий реалистичный пример. Пусть $k = 75\,\%$, $\eta = 3\,500$ летных часов в год, $T = 60\,000$ летных часов, $v = 600$ км/ч, $m = 160$ мест (что приблизительно соответствует наиболее распространенным среднемагистральным пассажирским самолетам, таким, как Boeing-737, A-320). Предположим, что изначально в парке было 10 000 воздушных судов данного типа, а сценарий изменения пассажирооборота соответствует фактической динамике пассажирооборота мировой гражданской авиации в 1999–2006 гг., приведенной на рис. 1.10. На рис. 1.11 на фоне графика изменения пассажиропотока (по вспомогательной оси ординат) изображены полученные с помощью модели БПМ[1] графики спроса на новые воздушные суда (мощности авиационной промышленности считаются в этом примере избыточными, поэтому поставки равны спросу).

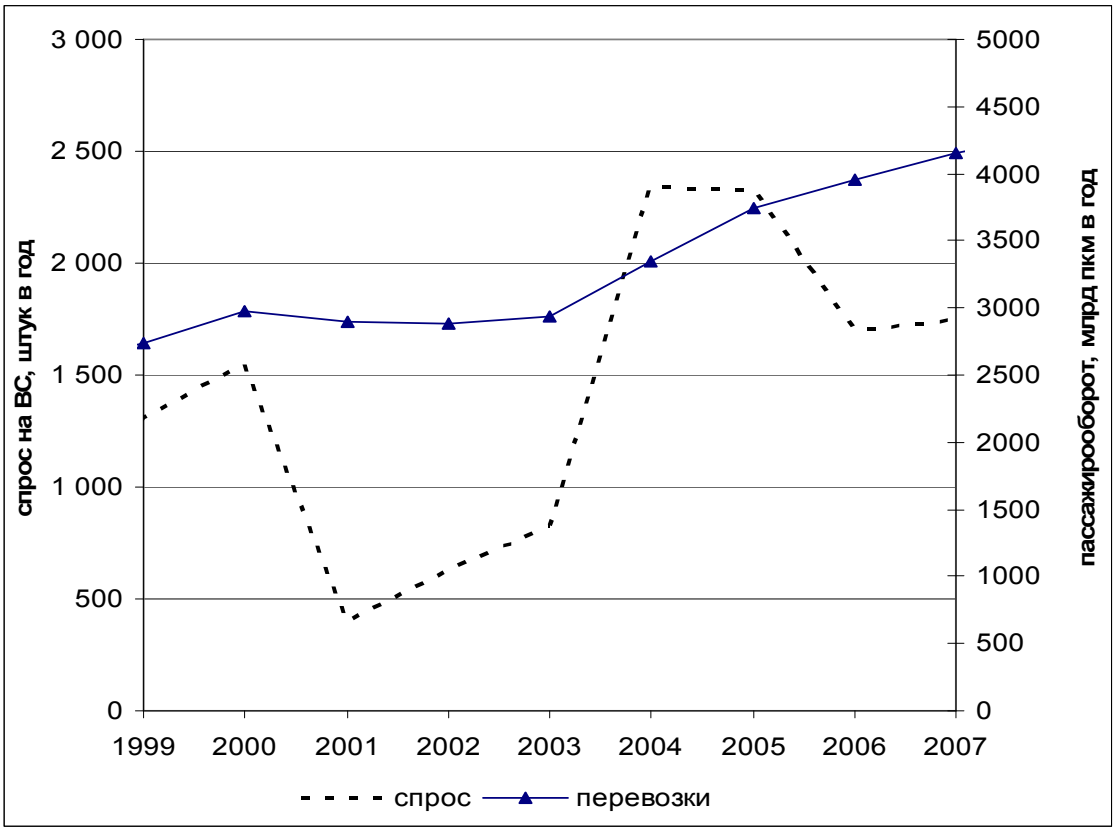


Рис. 1.11. Динамика изменения пассажирооборота воздушного транспорта и спроса на воздушные суда

[1] Для выполнения сценарных расчетов по модели БПМ написана программа в табличном редакторе Microsoft Excel, которая легко может быть воспроизведена пользователями на основе соотношений (1.9–1.17).

Разумеется, данный пример не может служить для корректной верификации предлагаемого метода прогнозирования, поскольку упрощенная модель БПМ содержит множество упрощений (однотипный и однородный парк и т.п.). Тем не менее, она корректно отражает эффект глубокого спада спроса на новую авиатехнику, наступающего при незначительном сокращении объема перевозок и даже просто при замедлении темпов их роста. На рис. 1.12 приведены реальные данные о заказах на новые магистральные пассажирские самолеты, полученные двумя ведущими мировыми производителями – компаниями “Boeing” (США) и “Airbus Industry” (ЕС) в 1999–2006 гг. (этот временной интервал охватывает кризисный период) [174, 177]. Хотя пассажирооборот мировой гражданской авиации сократился в 2001 г. незначительно – лишь на 3 %, см. рис. 1.10, объем заказов на новые воздушные суда упал по сравнению с 2000 г. на 52 %, причем, сильнее пострадала американская компания Boeing, в несколько большей степени ориентированная на североамериканский рынок.

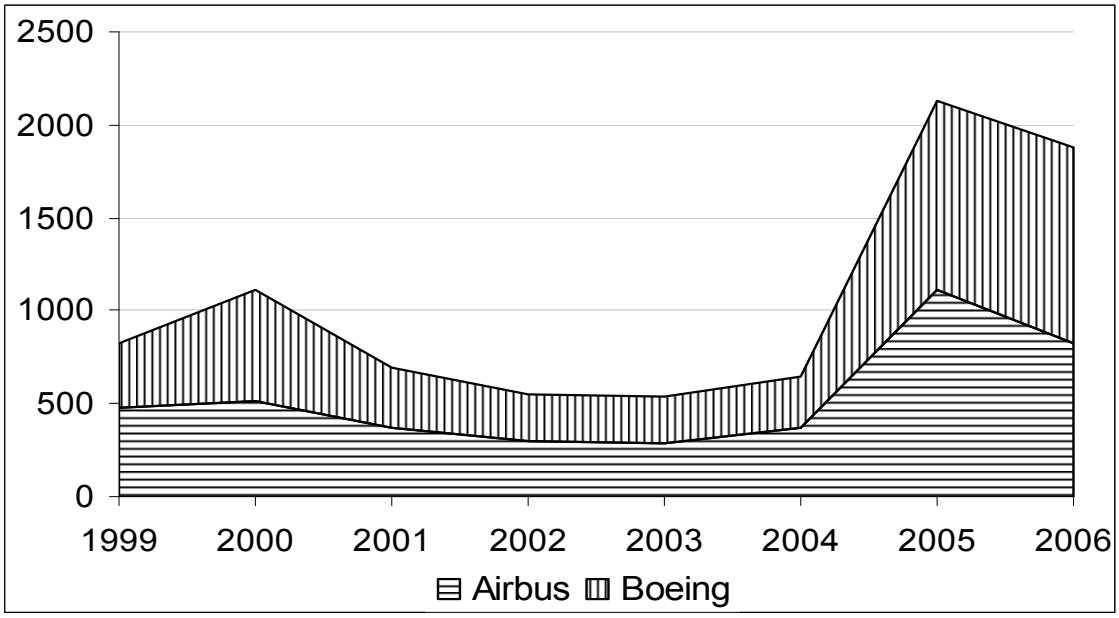


Рис. 1.12. Динамика заказов на магистральные пассажирские самолеты в 1999–2006 гг.

В упрощенной модели БПМ, принятой в данной работе, считается, что заказы на воздушные суда исполняются в течение года. В реальности срок их исполнения может быть существенно больше, что несколько демпфирует резкие изменения объема заказов. В этом можно убедиться, сравнив графики на рис. 1.5 и 1.12. Динамика выпуска воздушных судов, изображенная на рис. 1.5, является более сглаженной, по сравнению с динамикой заказов на рис. 1.12. Однако и объем поставок в рассматриваемый период изменялся на десятки процентов. Такая нестабильность выпуска категорически неприемлема для авиационной промышленности. В отрасли сильно проявляются как рассмотренный в п. 1.1 эффект обучения, когда

средние переменные издержки сокращаются с ростом накопленного объема выпуска, так и противоположный *эффект "забывания"*, когда накопленный опыт теряется в периоды спада выпуска. К этому приводит как увольнение квалифицированных работников, так и неизбежное "ржавление" человеческого капитала специалистов и рабочих, оставшихся в компании, по причине вынужденного бездействия. Как уже было отмечено выше, за год простоя теряется около 40 % накопленного опыта самолетостроительных компаний. Вследствие этого даже сравнительно малые колебания объемов выпуска приводят к существенному изменению себестоимости продукции и прибыли авиастроительных компаний. Возможное сокращение выпуска авиатехники в несколько раз можно считать катастрофическим. Наглядный пример доставляет отечественное гражданское авиастроение, подробнее см. п. 1.2. Длительный (порядка нескольких лет) спад выпуска может повлечь за собой необратимое разрушение производственного и кадрового потенциала предприятий, сложившихся кооперационных связей, потерю поставщиков комплектующих изделий. Однако зарубежная авиационная промышленность не только существует и приносит прибыль, но и является одним из «локомотивов» инновационного развития мировой экономики. Что способствует повышению устойчивости авиационной промышленности за рубежом?

В работе [45] проведен сравнительный анализ эффективности различных способов стабилизации объемов продаж авиатехники и выручки авиационной промышленности. Модель БПМ подсказывает наиболее естественный путь стабилизации спроса на авиатехнику. Необходимо обеспечить стабильный рост спроса на авиаперевозки, не допуская спадов. В этой связи вполне оправданной выглядит политика правительства США, которое в 2002–2005 гг. оказало безвозмездную финансовую помощь в размере 16–20 (в зависимости от методики учета) миллиардов долларов крупнейшим американским авиакомпаниям, оказавшимся на грани краха в период резкого удорожания авиатоплива и спада спроса на авиаперевозки [160]. На первый взгляд, гражданская авиация как поставщик конечных услуг, гораздо меньше нуждается в государственной поддержке, чем авиационная промышленность – производитель наукоемкой фондообразующей продукции. Однако, как показывает модель БПМ, стабилизация объема перевозок и стимулирование его роста являются весьма эффективными средствами стабилизации объемов продаж авиатехники. Правительства ведущих авиационных держав мира рассматривают субсидии авиакомпаниям не в последнюю очередь именно как инструмент поддержки гражданского авиастроения – см., например, [162].

Важно учесть, что глубокие спады объемов перевозок могут быть вызваны не только экономическими причинами (например, падением покупательной способности населения, как в странах СНГ в начале 1990-х гг.), но и другими факторами. Одно из главных мест здесь занимают фак-

торы безопасности, что убедительно подтверждается спадом пассажирооборота в развитых странах мира в 2001 г. Причем, безопасность здесь следует понимать в широком смысле слова – не только как безопасность полетов, но и как предупреждение террористических актов, распространения эпидемий, и т.п. Необходимо учитывать, что существенную долю авиапассажиров в мире занимают туристы, а нестабильность обстановки в том или ином регионе снижает его туристическую привлекательность. Потоки деловых пассажиров определяются уровнем деловой активности, которая, как правило, также падает в нестабильных регионах.

В сфере обеспечения комплексной безопасности авиапассажиров роль государства, безусловно, является решающей. Однако авиастроительные предприятия могут и должны сами повышать устойчивость своего развития. Стоит обратиться к опыту ведущих зарубежных авиастроительных компаний. Они, во-первых, как правило, являются многопрофильными, выпуская продукцию как гражданского, так и военного назначения, а также летательные аппараты специального назначения, спрос на которые не зависит от спроса на регулярные пассажирские перевозки. Двигателестроительные компании, помимо авиационных двигателей, выпускают газотурбинную технику наземного применения (прежде всего, для нужд топливно-энергетического комплекса). Такая диверсификация бизнеса способствует снижению рисков.

Во-вторых, авиастроительные предприятия все больше принимают на себя функции послепродажного обслуживания изделий (поставки запчастей, ремонта, модернизации, и т.п.). Как показано в работе [78], в настоящее время большинство независимых авиакомпаний не заинтересовано в организации сервиса своими силами, и стремится закупать все необходимые услуги у специализированных поставщиков[1]. Отсутствие развитой системы послепродажного сервиса радикально повышает эксплуатационные расходы, сокращает экономическую эффективность и снижает конкурентоспособность авиатехники. В работе [76] показано, что именно в этом состоит одна из важнейших причин низкой конкурентоспособности российской авиатехники на мировом и российском рынках.

Освоение рынка ТОиР весьма привлекательно для авиастроительных компаний, поскольку он является чрезвычайно емким и доходным. Затраты на послепродажное обслуживание воздушных судов и авиадвигателей за весь жизненный цикл, по меньшей мере, равны или даже превышают цену новых изделий. В результате более половины выручки ведущие зарубеж-

[1] Ряд крупнейших авиакомпаний мира имеют собственные развитые сервисные подразделения (например, национальный авиаперевозчик Германии Lufthansa располагает отделением Lufthansa Technik, и др.). Однако эти исключения лишь подтверждают правило. Во-первых, как показано в работе [78], при большой численности парка содержание собственных сервисных подразделений становится экономически оправданным. Во-вторых, для упомянутых авиакомпаний сервис является одним из направлений бизнеса, и помимо обслуживания собственного парка, они предоставляют сервисные услуги сторонним заказчикам.

ные авиастроительные компании получают именно за счет оказания сервисных услуг и поставки запасных частей. Однако авиастроительным компаниям следует активно заниматься послепродажным обслуживанием своих изделий еще и потому, что сервис обеспечивает более стабильный поток выручки, по сравнению с поставкой новой авиатехники. На целесообразность включения сервисных подразделений в состав машиностроительных предприятий с целью снижения риска указывали и другие авторы, см., например, [104]. Влияние диверсификации производственной программы авиационной промышленности на устойчивость ее развития можно оценить, пользуясь простейшей моделью БПМ. Поскольку потребность в послепродажном обслуживании связана, прежде всего, с эксплуатацией авиатехники, можно считать, что выручка от технического обслуживания и ремонта пропорциональна суммарному налету эксплуатируемой части парка воздушных судов, т.е.,

$$R_{\text{ТОиР}}(t) = c_{\text{ТОиР}} \cdot \eta \cdot N_{\text{Э}}(t), \qquad (1.19)$$

где $c_{\text{ТОиР}}$ – удельная стоимость ТОиР, в расчете на летный час. Как показано в работе [78], по объективным причинам все большая доля контрактов на ТОиР между авиакомпаниями и производителями авиатехники заключается с фиксированной ставкой оплаты за летный час, поэтому величина $c_{\text{ТОиР}}$ нередко поддается непосредственному наблюдению. Обозначив цену нового воздушного судна $P$, выразим выручку от продажи авиатехники, а также суммарную выручку гражданского сектора авиационной промышленности:

$$R_{\text{ВС}}(t) = P \cdot q^{\text{постав}}(t), \qquad (1.20)$$

$$R_{\Sigma}(t) = R_{\text{ВС}}(t) + R_{\text{ТОиР}}(t). \qquad (1.21)$$

На рис. 1.13 изображены полученные в рамках вышеприведенного примера графики изменения со временем пассажиропотока, выручки от продажи новых изделий и ТОиР, а также суммарной выручки авиационной промышленности. Цена нового самолета принималась равной 54 млн долларов, а суммарные затраты на ТОиР самолета и двигателей, в расчете на летный час – 900 долларов, т.к. такие значения цены и стоимости ТОиР характерны для наиболее распространенных в мире типов среднемагистральных воздушных судов –А-320, Boeing-737 [174, 177].

Как видно из графиков на рис. 1.13, поток выручки от ТОиР гораздо более стабилен, по сравнению с выручкой от продаж новых изделий, поскольку он пропорционален самому спросу на авиаперевозки, а не темпу его изменения. На рис. 1.14 изображены графики темпов изменения объема перевозок (по вспомогательной оси ординат), а также суммарной выручки авиационной промышленности от продажи воздушных судов и сервисных услуг (по основной оси ординат).

Графики показывают, что наличие потока выручки от реализации ТОиР эффективно демпфирует колебания выручки от продажи новых воздушных судов, существенно смягчая для авиационной промышленности влияние нестабильности объема перевозок.

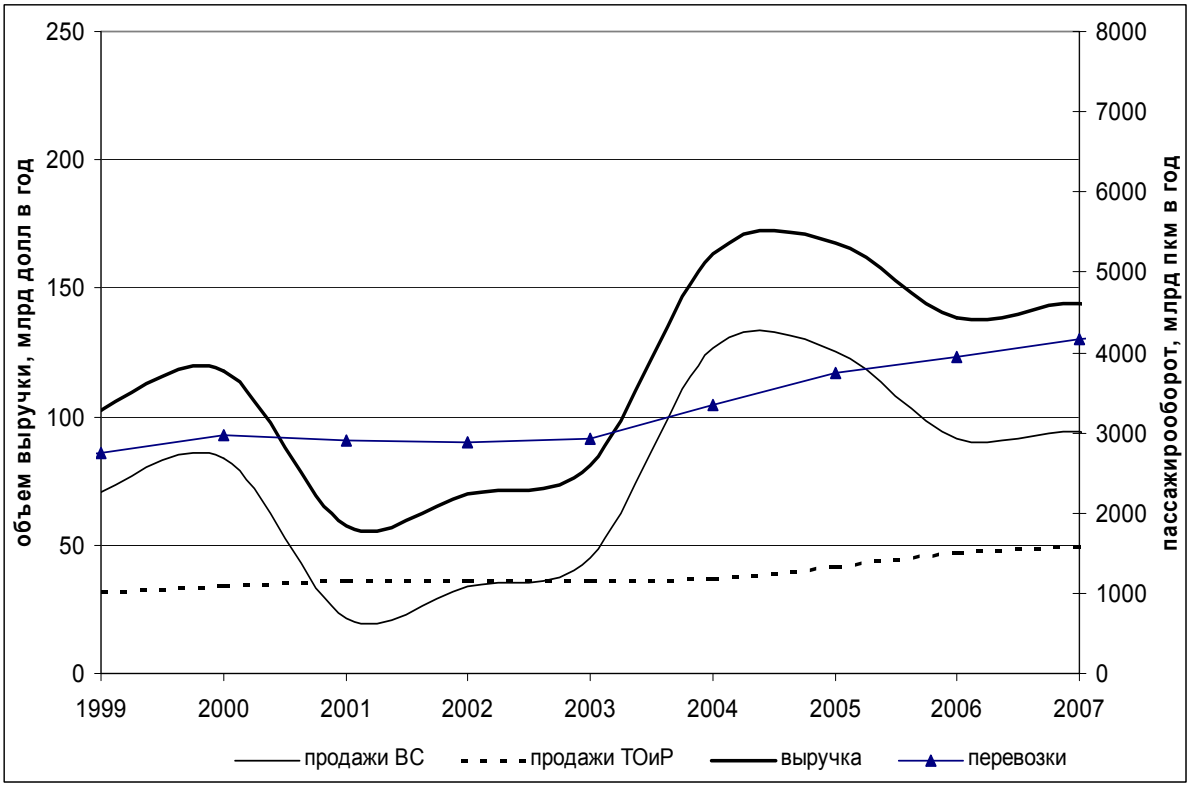


Рис. 1.13. Динамика изменения пассажиропотока, объемов продаж и выручки авиационной промышленности

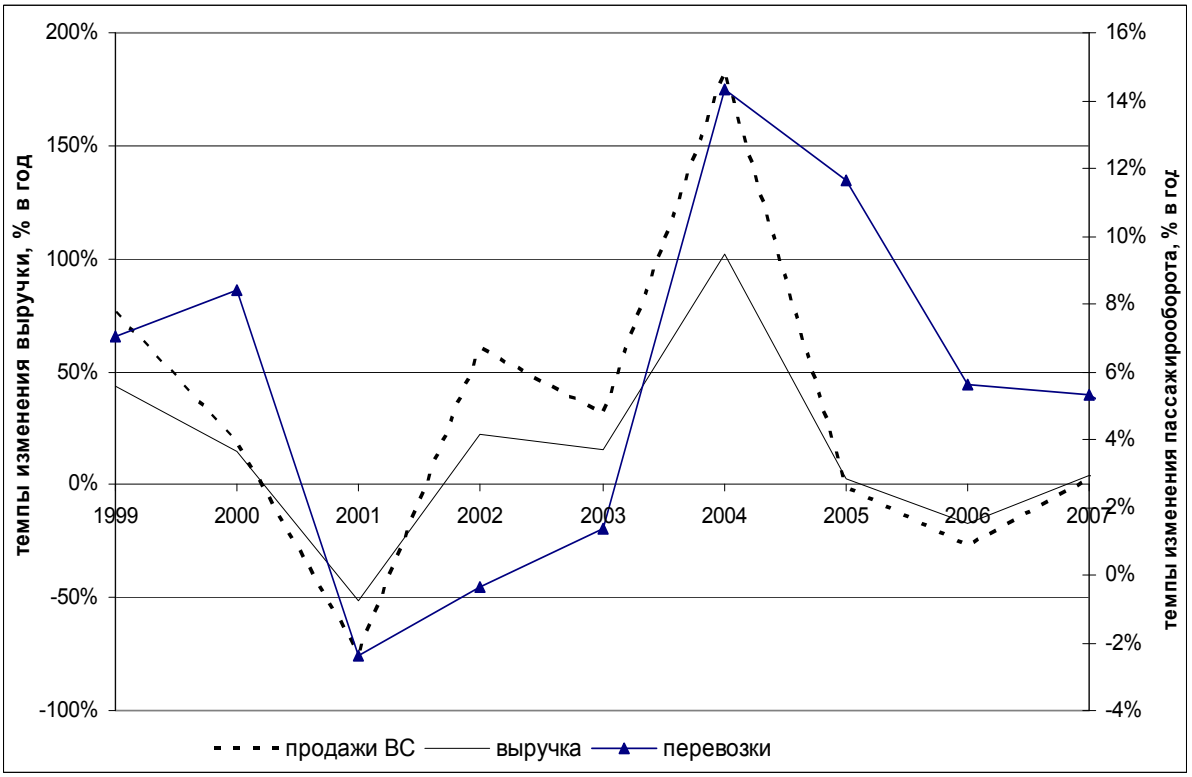


Рис. 1.14. Сравнение темпов изменения пассажиропотока и выручки авиационной промышленности

**Выводы по главе 1**

1. Отраслевые особенности авиастроения диктуют необходимость обеспечения массового выпуска продукции для обеспечения приемлемого уровня себестоимости продукции и рентабельности предприятий. Чтобы риск убыточности проекта не превышал приемлемого уровня, необходимо обеспечить объемы реализации, существенно превышающие порог окупаемости программы.

2. Высокие риски реализации авиастроительных проектов и их долгосрочный характер обуславливают необходимость государственной поддержки развития отрасли в форме гарантирования кредитов частных инвесторов или даже прямого государственного финансирования создания новой авиатехники и освоения ее производства.

3. Низкая эффективность работы российского гражданского авиастроения и разрушение его потенциала вызваны катастрофическим спадом объемов продаж при переходе к открытому конкурентному рынку авиатехники. Пропорциональное выпуску сокращение численности персонала и занимаемых площадей не позволит повысить эффективность их использования и грозит необратимыми негативными последствиями. Лишь восстановив массовый выпуск гражданской авиатехники, можно обеспечить высокую эффективность работы отрасли и устойчивое воспроизводство ее потенциала.

4. Нестабильность совокупного спроса на продукцию авиационной промышленности существенно превышает нестабильность спроса на авиаперевозки. Не только спад пассажирооборота и объема перевозок, но даже сокращение темпов их роста может привести к глубокому спаду спроса на авиатехнику, угрожающему необратимым разрушением потенциала авиационной промышленности.

5. Эффективными инструментами стабилизации спроса на продукцию авиационной промышленности и доходов авиастроительных предприятий являются:

- меры государственного регулирования, направленные на стимулирование спроса на авиаперевозки;
- диверсификация авиастроительного бизнеса за счет выпуска продукции гражданского и военного назначения, освоения неавиационных рынков высокотехнологичной продукции, и т.п.;
- активный выход производителей авиатехники на рынки ее послепродажного обслуживания.

# ГЛАВА 2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ОБНОВЛЕНИЯ ПАРКА ГРАЖДАНСКОЙ АВИАТЕХНИКИ

## 2.1. Моральное устаревание гражданской авиатехники и технико-экономический анализ перспектив её совершенствования

В простейшей модели совокупного спроса на новую авиатехнику (БПМ) учитывались закупки новых изделий для расширения парка и для замены изделий, выработавших свой ресурс. Однако существует еще одна группа факторов, определяющих спрос авиакомпаний на новые воздушные суда. Это моральное старение авиатехники, заставляющее авиакомпании приобретать изделия нового поколения, даже если численность парка является достаточной или избыточной. В такие периоды именно качественное обновление парка авиатехники становится основным фактором, определяющим спрос на новые воздушные суда. По данным источника [37], только 42 % из 700 списанных в России в 1991–2003 гг. магистральных и региональных пассажирских самолетов выработали свой ресурс, из 440 грузовых самолетов – 14 %, из 1 180 вертолетов – 22 %. В то же время, несмотря на избыток провозных мощностей, новая авиатехника все-таки приобреталась. По данным того же источника, только в 2002–2005 гг. парк российских авиакомпаний пополнился 17 новыми магистральными воздушными судами отечественного производства и 82 магистральными самолетами зарубежного производства (в т.ч. приобретенными на вторичном рынке). В условиях нестабильного развития рынка авиаперевозок, именно процессы морального устаревания авиатехники и качественного обновления авиапарка играют решающую роль в формировании спроса на продукцию авиастроения, стабилизации выпуска и выручки отрасли. Факторы морального устаревания авиатехники должны учитываться при формировании требований к перспективным изделиям, при определении приоритетных направлений НИОКР. Поэтому им необходимо уделить особое внимание. Моральное старение авиатехники определяется ее низкой экономической эффективностью, несоответствием новым экологическим нормам, ужесточающимся требованиям безопасности полета, стандартам комфорта, и т.п. Прежде всего, рассмотрим экономические факторы морального устаревания.

### *2.1.1. Экономический критерий морального устаревания и смены поколений гражданской авиатехники*

Жизненный цикл изделий авиастроения обладает следующими особенностями. Во-первых, гражданские воздушные суда являются весьма долговечными (порядка 20–30 лет и более), и на протяжении срока их службы могут происходить существенные изменения системы цен (на материалы, авиатопливо и прочие ресурсы), а также могут появляться новые

технологии, позволяющие существенно улучшить технико-экономические характеристики вновь выпускаемых изделий. Во-вторых, существенная, а нередко – подавляющая доля стоимости жизненного цикла авиатехники приходится на этап эксплуатации. Поэтому одной из самых актуальных задач разработчиков гражданской авиатехники является повышение ее эксплуатационной экономичности. По мере совершенствования техники, ее технико-экономические характеристики улучшаются. Но в какой момент количество переходит в качество, и можно говорить о создании качественно нового поколения изделий (соответственно, о моральном устаревании ранее выпущенных изделий)? Само по себе внедрение новых материалов, конструктивных и технологических решений не является самоцелью и не может служить объективным критерием выделения поколений авиатехники. Сложность разделения поколений авиатехники усугубляется следующими факторами:

1) на протяжении нескольких десятилетий внешний вид, общая конструктивная схема и даже многие потребительские свойства (например, скорости и высоты полета) реактивных пассажирских самолетов не претерпели существенных изменений;
2) руководствуясь целым рядом экономических соображений (снижение рисков, обеспечение непрерывности потока выручки, и т.п.), производители стремятся, по возможности, внедрять новые решения не революционным образом, а путем эволюционного развития базовой конструкции, в результате чего появляются поколения, обозначаемые отраслевыми специалистами “4+”, “4++”, и т.д.

В связи с этим, предлагается классифицировать новые типы авиатехники, исходя не из технических, а из экономических критериев (тем более, что все новые технические решения в гражданской авиации подчинены, в конечном счете, стремлению повысить экономическую эффективность техники и уровень безопасности полетов). Т.М. Гусмановым был предложен и обоснован следующий экономический критерий достижения качественного превосходства нового типа изделий над старым [81]:

*«Новый тип изделий можно относить к качественно новому поколению (а предыдущее поколение, соответственно, считать морально устаревшим), если в момент его появления на рынке эксплуатирующим организациям выгодно вывести из эксплуатации старые изделия, даже если их ресурс не выработан до конца».*

Определим условия выполнения предлагаемого критерия более конкретным образом. Показателем экономической эффективности пассажирских самолетов можно считать эксплуатационные затраты в расчете на летный час самолета или на пассажиро-километр [46, 100]. Стоимость летного часа воздушного судна можно упрощенно представить следующим образом:

$$c_{\text{час}} = c_{\text{ам}} + c_{\text{опер}}, \qquad (2.1)$$

где $c_{\text{ам}}$ – средняя ставка амортизации в расчете на летный час, определяемая как отношение цены самолета $P$ к его назначенному ресурсу $T$, выраженному в летных часах;

$c_{\text{опер}}$ – текущие *операционные затраты* на летный час. Они складываются, прежде всего, из затрат на горюче-смазочные материалы (ГСМ), а также на техническое обслуживание и ремонт:

$$c_{\text{опер}} = c_{\text{ТОиР}} + g \cdot p_{\text{ГСМ}}, \qquad (2.2)$$

где $c_{\text{ТОиР}}$ – средние затраты на ТОиР в расчете на летный час;

$g$ – удельный расход топлива, тонн на летный час;

$p_{\text{ГСМ}}$ – цена тонны авиатоплива.

При сравнении воздушных судов, имеющих различную пассажировместимость и крейсерскую скорость полета, необходимо привести затраты к одному пассажиро-километру, или, вернее, к кресло-километру (поскольку заполняемость кресел может быть неполной):

$$c_{\text{ккм}} = \frac{c_{\text{час}}}{m \cdot v},$$

где $m$ – пассажировместимость воздушного судна;

$v$ – крейсерская скорость, км/ч.

Разумеется, используемый в данной модели (как и во многих работах по экономике авиационной промышленности) подход к анализу экономической эффективности продукции авиационной промышленности является чрезвычайно упрощенным. Так, например, оценка затрат на ТОиР осложняется множеством индивидуальных факторов – наличием либо отсутствием распределенной ремонтной инфраструктуры, складов запасных частей, доступностью ряда современных услуг послепродажной поддержки и т.д., подробнее см., например, [74, 76, 78]. Даже затраты на ГСМ существенно зависят от структуры маршрутной сети, обслуживаемой данной авиакомпанией, закупочной политики и т.п. Помимо затрат на ГСМ и ТОиР, в составе операционных издержек необходимо учитывать оплату труда экипажа, аэропортовые сборы и т.д., подробнее см. [100]. Более того, эффективность – это соотношение затрат и результатов использования объекта по назначению, поэтому она определяется не только уровнем затрат на перевозки, но и другими их характеристиками – например, скоростью доставки пассажиров и грузов, возможностью выполнения рейсов в те или иные пункты назначения (что зависит от взлетно-посадочных характеристик воздушного судна) и т.д. Наконец, корректнее оценивать экономическую эффективность не изделий (воздушных судов, авиадвигателей), а систем, т.е. парков авиатехники в совокупности со всей необходимой инфраструктурой. В реальности экономическая эффективность является многокритериальной категорией, индивидуальной для различных потенциальных заказчиков. Тем не менее, себестоимость эксплуатации гражданской авиатехники

действительно является одним из важнейших показателей ее экономической эффективности. При сравнении дозвуковых пассажирских воздушных судов правомерно пользоваться упрощенными оценками стоимости летного часа или кресло-километра, полученными по формулам (2.1, 2.2)

Авиакомпания может принять одно из двух альтернативных решений. Либо старое изделие эксплуатируется до полной выработки ресурса, и лишь затем заменяется изделием нового типа, либо оно списывается и заменяется немедленно при появлении на рынке нового поколения авиатехники. Списывая воздушное судно в момент появления на рынке нового типа изделий, авиакомпания несет дополнительные затраты. При наличии исправного воздушного судна, которое еще можно было эксплуатировать в течение $\Delta T^{\text{стар}}$ летных часов, авиакомпания приобретает самолет нового типа, часовая ставка амортизации которого составляет $c_{\text{ам}}^{\text{нов}}$. Таким образом, дополнительные затраты на приобретение "лишней" авиатехники за указанный период составят $\Delta T^{\text{стар}} \cdot c_{\text{ам}}^{\text{нов}}$. В то же время, самолет нового типа, как правило, обладает более низким расходом топлива, а также большей периодичностью и меньшей трудоемкостью ТОиР. Поэтому, если бы эксплуатация старого воздушного судна продолжалась до полной выработки ресурса, потери вследствие более высокого уровня операционных затрат составили бы $\left(c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}\right)\Delta T^{\text{стар}}$, где $c_{\text{опер}}^{\text{стар}}$, $c_{\text{опер}}^{\text{нов}}$ – операционные затраты самолетов, соответственно, старого и нового типов. Следовательно, для принятия решения о списании старой авиатехники либо о продолжении ее эксплуатации до полного исчерпания ресурса необходимо соотнести величины затрат и потерь в обоих случаях. Если выполняется неравенство

$$\Delta T^{\text{стар}} \cdot c_{\text{ам}}^{\text{нов}} < \left(c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}\right)\Delta T^{\text{стар}},$$

старое воздушное судно целесообразно списать, несмотря на неполную выработку ресурса, сразу после появления возможности приобрести авиатехнику нового типа. Полученное неравенство означает, что часовая ставка амортизации изделий нового типа ниже разницы операционных затрат:

$$c_{\text{ам}}^{\text{нов}} < c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}. \qquad (2.3)$$

Иначе говоря, полная стоимость летного часа нового типа изделий (включающая амортизацию) должна быть ниже операционных затрат изделий старого поколения[1]:

$$c_{\text{час}}^{\text{нов}} < c_{\text{опер}}^{\text{стар}}. \qquad (2.4)$$

Подчеркнем, что цена изделий старого поколения не является принципиально важной, поскольку она уже уплачена, а предшествующие затраты не оказывают влияния на решения, принимаемые в данный момент (что

[1] Разумеется, целесообразность досрочного списания имеющейся авиатехники определяется индивидуально для каждой авиакомпании, поскольку для разных заказчиков цены, входящие в неравенство (2.3), могут существенно различаться.

и отражено в приведенной модели, вообще не содержащей цены старых изделий). Также в данной упрощенной модели не имеет значения остаток ресурса изделий старого типа.

Рассмотрим пример применения предложенного критерия. В настоящее время основу парка многих российских авиакомпаний составляют среднемагистральные пассажирские самолеты Ту-154М. В качестве альтернативы могут рассматриваться, например, самолеты А-320 производства западноевропейской компании Airbus Industry. В табл. 2.1 приведены технико-экономические параметры указанных типов самолетов[19]. Стоимость нормо-часа ТОиР принята равной 100 долларов; цена тонны авиатоплива – 600 долларов. Поскольку эти типы воздушных судов обладают практически одинаковыми пассажировместимостью и крейсерской скоростью, их часовая производительность идентична. Поэтому в качестве критерия экономической эффективности при сравнении этих изделий можно использовать как стоимость пассажиро-километра, так и стоимость летного часа.

*Таблица 2.1*

Сравнение технико-экономических характеристик среднемагистральных самолетов

| Тип самолета | Ту-154М | А-320 |
|---|---|---|
| Цена нового самолета, млн долларов | - | 54 |
| Пассажировместимость, мест | 166 | 164 |
| Крейсерская скорость, км/ч | 820 | 835 |
| *Часовая производительность, тысяч пасс.-км/ч* | 136,1 | 136,9 |
| Назначенный ресурс самолета, летных часов | 45 000 | 60 000 |
| *Часовая ставка амортизации, долларов на летный час* | - | 900 |
| Средняя трудоемкость ТОиР, человеко-часов на летный час | 7 | 2 |
| *Средние затраты на ТОиР, долларов на летный час* | 700 | 200 |
| Удельный расход топлива[20], тонн на летный час | 4,6 | 2,7 |
| *Средние затраты на ГСМ, долларов на летный час* | 2 760 | 1 620 |
| *Операционные затраты, долларов на летный час* | 3 460 | 1 820 |
| *Суммарные эксплуатационные затраты, долларов на летный час* | 3 460 | 2720 |

По состоянию на начало 2008 г. цена авиатоплива в ряде аэропортов России превысила 1 000 долларов за тонну, см., например, [191] и рис. 2.1.

В то же время, пользуясь формулами (2.1–2.4) и данными табл. 2.1, можно определить, что уже при цене авиатоплива, равной 220 долларов за тонну, операционные затраты Ту-154М превысят суммарную (с учетом амортизации) стоимость летного часа А-320, а при дальнейшем удорожании ГСМ эта разница будет увеличиваться. Таким образом, согласно пред-

[19] По официальным данным производителей, см. [47, 174].

[20] Здесь и далее используются данные о расходе топлива на т.н. *крейсерском*, т.е. наиболее экономичном режиме полета. Поскольку, помимо крейсерского режима, каждый полет включает в себя участки взлета, набора высоты, снижения и посадки, маневрирования, и т.д., фактический расход топлива в реальности всегда выше.

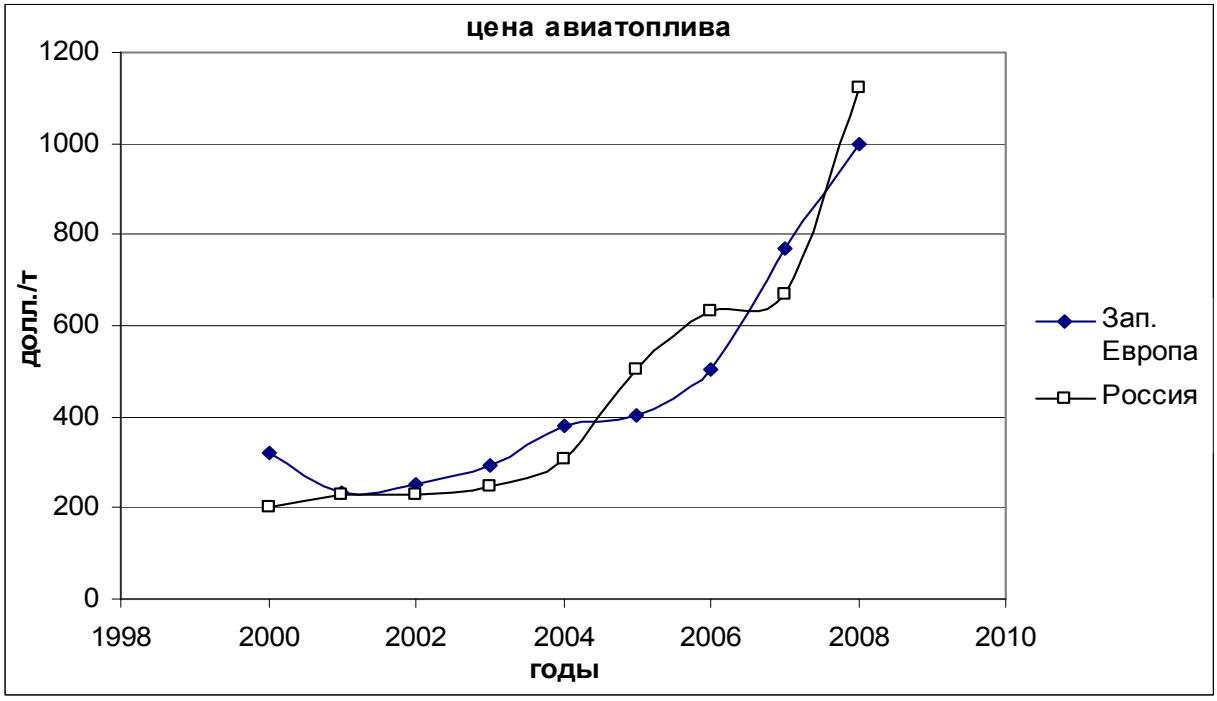


Рис. 2.1. Средняя цена авиатоплива в аэропортах России и Западной Европы в 2000-х гг.[1]

ложенному экономическому критерию морального устаревания, российские авиакомпании действительно заинтересованы в ускоренном списании авиатехники советского производства (даже при наличии значительного остатка ресурса) и ее замене на импортные самолеты разработки 1980-х гг.

Однако, хотя уже в 2007 г. воздушные суда зарубежного производства обеспечивали около 35 % пассажирооборота гражданской авиации РФ, а в 2008 г. – более 50 %, см. [185], даже в 2009 г. еще не произошло тотального вывода советской авиатехники из эксплуатации. Не является ли предлагаемый критерий излишне жестким? Неполное списание старой советской авиатехники может объясняться следующими факторами, не учтенными в предлагаемых упрощенных моделях:

1) Знак неравенства (2.3) может меняться на противоположный за счет импортных пошлин, существенно увеличивающих ставку амортизации зарубежной авиатехники. В присутствии пошлин, это условие приобретает следующий вид (разумеется, лишь в отношении импортных изделий):

$$c_{\text{ам}}^{\text{нов}}\left(1+\frac{t_{\text{имп}}}{100\%}\right)<c_{\text{опер}}^{\text{стар}}-c_{\text{опер}}^{\text{нов}}, \qquad (2.5)$$

где $t_{\text{имп}}$ – ставка импортных пошлин в %. Впрочем, при нынешних ценах авиатоплива сдерживающее влияние импортных пошлин уже ослабло, в

[1] Обобщающие данные о ценах авиатоплива подготовлены в Центральном институте авиационного моторостроения им. П.И. Баранова.

чем можно убедиться, пользуясь данными табл. 2.1, рис. 2.1 и формулами (2.1–2.4). Так, при суммарной ставке импортной пошлины (в сумме с НДС) на уровне 42 %, часовая ставка амортизации А-320 возрастет до 1 280 долларов за летный час. Расчет показывает, что цена авиатоплива, при которой становится эффективным немедленный вывод из эксплуатации самолетов типа Ту-154М, повышается с 220 до 420 долларов за тонну. Однако, поскольку цены авиатоплива и в России, и за рубежом уже в течение нескольких лет существенно превышают этот порог, можно утверждать, что даже нынешний (весьма высокий) уровень пошлин на ввоз зарубежной авиатехники не исключает заинтересованности российских авиакомпаний в ее приобретении. Кроме того, пошлины действуют не во всех сегментах рынка. В 2008 г. в России были полностью отменены пошлины на импорт пассажирских самолетов вместимостью более 300 мест.

2) При наличии массового спроса на более эффективные воздушные суда может возникать их дефицит, затрудняющий обновление парка. Ведущие мировые производители авиатехники загружены заказами на несколько лет вперед[1]. При этом они не заинтересованы существенно наращивать выпуск и мощности, поскольку, если спрос на новые изделия будет быстро насыщен, период пиковой загрузки мощностей сменится периодом стагнации, угрожающей разрушением потенциала предприятий. В свою очередь, дефицит новой авиатехники ограничивает и предложение воздушных судов на вторичном рынке.

3) Ввод в эксплуатацию нового для данной авиакомпании типа воздушных судов, тем более, зарубежного производства, может занять существенное время и потребовать от авиакомпании значительных единовременных затрат, в т.ч.:

- на обучение летного и наземного персонала;
- на сертификацию, лицензирование, и т.п.;
- на приобретение средств наземного обслуживания (СНО), контрольно-поверочной аппаратуры, программного обеспечения, и т.п.

По сообщениям российских авиакомпаний, которые перешли на эксплуатацию зарубежной авиатехники, соответствующие затраты имеют порядок нескольких миллионов долларов. Если бы перечисленные единовременные затраты, как и цена зарубежного воздушного судна, могли быть распределены на весь срок его службы, они, вероятнее всего, не оказали бы значительного влияния на решение о досрочном списании авиатехники старого поколения. Однако отличие этих вложений от затрат на приобретение воздушного судна состоит в том, что они являются безвозвратными, и если эксплуатация данного воздушного судна будет вскоре прекращена, соответствующие вложения авиакомпании не удастся вернуть даже час-

[1] Причина состоит, как раз, в экономически обоснованном стремлении многих авиакомпаний мира заменить авиатехнику старого поколения, что и создает высокий спрос на новые самолеты даже при неблагоприятной конъюнктуре рынка авиаперевозок. Подробнее этот эффект исследуется в п. 2.3.

тично. Поэтому, если горизонт планирования авиакомпании является относительно коротким, досрочное списание старой авиатехники может оказаться неэффективным. Обозначим горизонт планирования авиакомпании $t_{\text{план}}$, а длительность ввода новых воздушных судов в эксплуатацию – $t_{\text{ввод}}$. Предположим для простоты оценок, что часовая производительность старого и нового типов воздушных судов не отличаются, а также не меняется среднегодовой налет $\eta$. Следовательно, одно старое воздушное судно заменяется одним новым.

Затраты авиакомпании на освоение эксплуатации $N$ воздушных судов нового типа можно представить следующим образом:

$$C_{\text{осв}} = C_{\text{тип}} + N \cdot c_{\text{ввод}}, \tag{2.6}$$

где $C_{\text{тип}}$ – постоянные затраты на освоение эксплуатации нового типа воздушных судов, не зависящие от численности парка;

$c_{\text{ввод}}$ – удельные затраты на ввод в эксплуатацию одного воздушного судна нового типа.

Тогда за период, соответствующий своему горизонту планирования $t_{\text{план}}$, авиакомпания понесет следующие затраты в расчете на одно воздушное судно:

- при продолжении эксплуатации воздушных судов старого поколения:

$$TC = \eta \cdot t_{\text{план}} \cdot c_{\text{опер}}^{\text{стар}}.$$

- при замене старой авиатехники на изделия нового поколения:

$$TC = \eta \cdot t_{\text{ввод}} \cdot c_{\text{опер}}^{\text{стар}} + \frac{C_{\text{осв}}}{N} + \eta\left(t_{\text{план}} - t_{\text{ввод}}\right)c_{\text{час}}^{\text{нов}}$$

(поскольку в течение периода $t_{\text{ввод}}$ авиакомпании придется продолжать эксплуатацию старых воздушных судов).

Сопоставляя полученные значения затрат, можно оценить, при каком максимальном горизонте планирования авиакомпания продолжит эксплуатацию старых воздушных судов, несмотря на выполнение условия (2.3):

$$t_{\text{план}}^{\max} = t_{\text{ввод}} + \frac{C_{\text{осв}}}{N\eta\left(c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{час}}^{\text{нов}}\right)}. \tag{2.7}$$

Это значение соответствует сроку, за который экономия благодаря более низкому уровню эксплуатационных затрат изделий нового поколения окупит единовременные затраты на освоение их эксплуатации.

В качестве примера рассмотрим авиакомпанию, в парке которой имеется 3 самолета Ту-154М со средним остатком ресурса 10 000 л.ч. и среднегодовым налетом 2 000 л.ч. Предположим, что цена авиатоплива составляет 600 долл./т, а ставка оплаты ТОиР равна 100 долл./чел.-ч. Целесообразно ли для данной авиакомпании при появлении на рынке А-320 немедленно списать имеющиеся Ту-154М и заменить их воздушными судами нового поколения? Условие (2.3) в данном случае выполняется, так как со-

гласно данным, приведенным в табл. 2.1, часовая стоимость владения А-320 составляет 907 долл./л.ч., что гораздо меньше, чем разница операционных затрат, которая равна 1 640 долл./л.ч. Соответственно, целесообразно немедленное списание старых Ту-154М и их замена на А-320. С другой стороны, как было показано выше, авиакомпания может отказаться от немедленной замены старой авиатехники, если горизонт планирования руководства ниже пороговой величины, задаваемой условием (2.7). Для расчета максимального горизонта планирования, при котором авиакомпания продолжит эксплуатацию Ту-154М, сделаем несколько реалистичных предположений: пусть $C_{\text{тип}} = 5$ млн долл., $C_{\text{ввод}} = 2$ млн долл., $t_{\text{ввод}} = 1$ год. Тогда, согласно формуле (2.7),

$$t_{\text{план}}^{\max} = t_{\text{ввод}} + \frac{C_{\text{тип}} + C_{\text{ввод}} \cdot N}{N \cdot \eta \cdot (c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{час}}^{\text{нов}})} =$$

$$= 1\,\text{г} + \frac{5\ \text{млн долл.} + 2\ \text{млн долл.} \cdot 3}{3 \cdot 2000\ \text{л.ч./г} \cdot (3460\text{долл./л.ч.} - 2727\ \text{долл./л.ч.})} = 3{,}5\ \text{г}.$$

Таким образом, если горизонт планирования авиакомпании меньше 3,5 лет, то она будет эксплуатировать старые самолеты Ту-154М до окончания этого срока, несмотря на то, что условие (2.3) выполняется и, на первый взгляд, целесообразно немедленное списание старой техники и замена её новой. В условиях экономической нестабильности, неразвитых рыночных институтов и высоких рисков, горизонт планирования многих российских бизнесменов (в т.ч. и в сфере авиаперевозок) иногда не превышает одного года. Кроме того, ограниченные финансовые возможности мелких авиакомпаний иногда не позволяют им даже привлекать кредиты или брать более современную авиатехнику в лизинг.

Таким образом, наблюдающееся неполное и постепенное списание изделий старого поколения не противоречит предложенному экономическому критерию морального устаревания авиатехники.

### *2.1.2. Анализ динамики улучшения технико-экономических характеристик гражданской авиатехники*

Формирование перспективной стратегии развития авиастроения требует обоснованного прогноза морального устаревания гражданской авиатехники. С одной стороны, предложенный здесь критерий морального устаревания в принципе выполним, что и было показано на примере самолетов Ту-154М и А-320. С другой стороны, примеры достижения качественного превосходства новых типов изделий над старыми в прошлом еще не гарантируют, что такие возможности сохранятся и в будущем.

Как правило, динамику развития технологий можно описать так называемой *S-образной кривой*, см. рис. 2.2.

Разумеется, *S*-образные кривые являются лишь простейшей моделью процесса развития технологий. В реальности этот процесс является ступенчатым, а не непрерывным, как на рис. 2.2, и обладает иными сложными

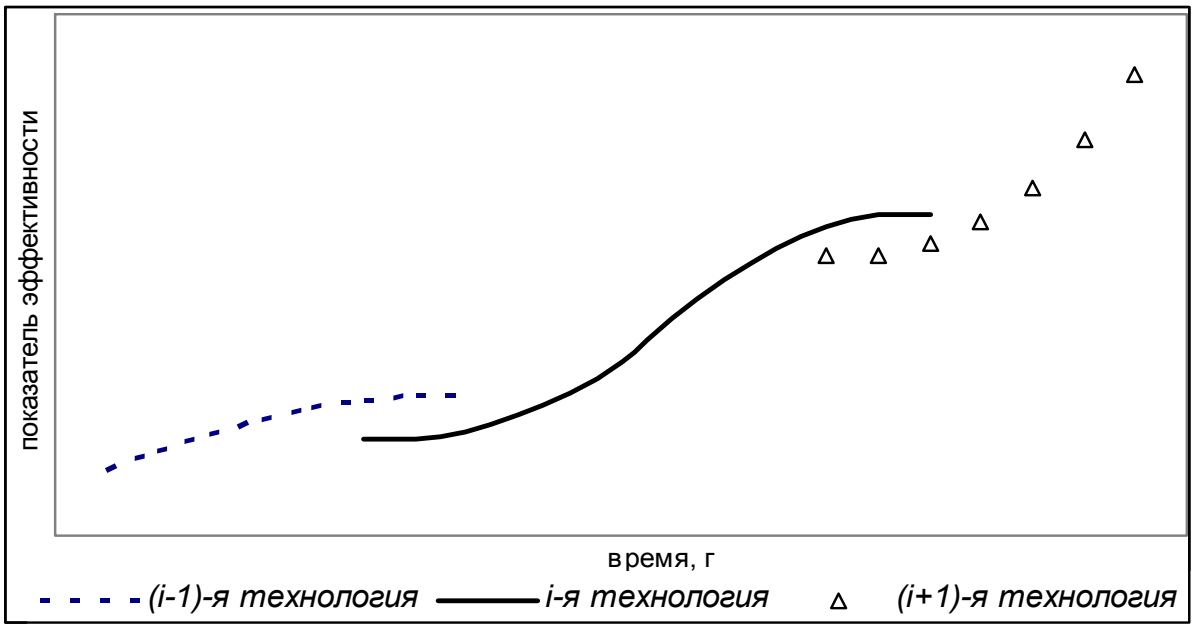


Рис. 2.2. Характерная динамика развития новых технологий

особенностями. Однако эта простая модель адекватно отражает следующие качественные эффекты. На начальном этапе развития новой технологии, ее эффективность невелика (нередко даже по сравнению с существующими технологиями – тогда имеет место т.н. *технологический разрыв*, ясно видимый на рис. 2.2), и повышается медленно. Затем, по мере накопления знаний и опыта, начинается бурное развитие данной технологии, в ходе которого ее эффективность радикально возрастает, и новая технология вытесняет старые. И, наконец, эффективность технологии приближается к пределам, обусловленным законами природы. При этом повышение эффективности требует все б**о**льших затрат.

Большинство традиционных технологий в области гражданского авиастроения в настоящее время близки к исчерпанию пределов своего совершенствования, что подтверждается данными о динамике основных показателей технико-экономического совершенства гражданских самолетов и авиадвигателей в период с 1960-х по 2000-е гг. На рис. 2.3 и 2.4 представлены значения удельного расхода топлива[1] и амортизационных затрат (в расчете на пассажиро-километр) среднемагистральных пассажирских самолетов семейства Boeing-737 (США), разработанных на протяжении нескольких последних десятилетий. Несмотря на общее наименование, в это семейство входят, фактически, изделия трех поколений. Наиболее раннее

[1] Основное внимание уделяется расходу топлива, поскольку топливные затраты являются важнейшей составляющей эксплуатационных затрат в гражданской авиации. Соответственно, совершенствование гражданской авиатехники идет, главным образом, по пути улучшения топливной экономичности.

поколение, введенное в эксплуатацию в начале 1970-х гг., представлено модификацией Boeing-737-200 Advanced. Следующее поколение (737 Classic), представленное модификациями 737-300, -400 и -500, появилось на мировом рынке в середине-конце 1980-х гг. И, наконец, наиболее современное поколение (737 Next Generation), включающее в себя модификации 737-600, -700 и -800, предлагается заказчикам с конца 1990-х гг.

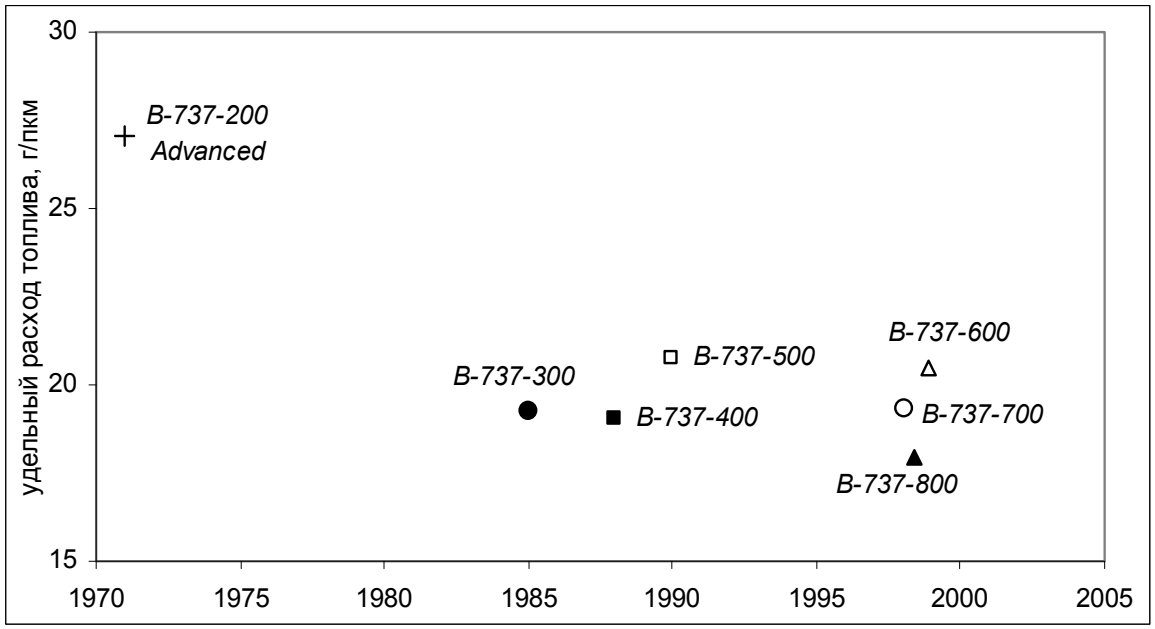


Рис. 2.3. Динамика изменения удельного расхода топлива самолетов семейства Boeing-737

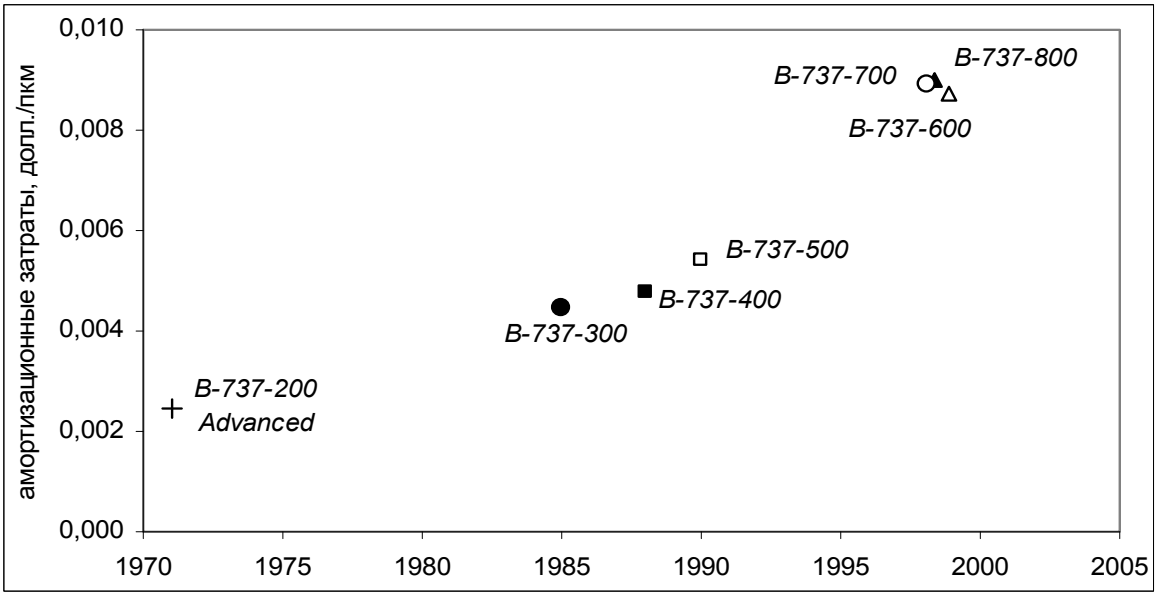


Рис. 2.4. Динамика изменения ставки амортизационных затрат самолетов семейства Boeing-737

Поскольку амортизационные затраты рассчитываются на основе цены изделия, при сопоставлении современных модификаций с наиболее

ранними возникает следующая проблема. Естественно, изделия ранних модификаций уже не выпускаются, поэтому их нынешние цены не поддаются непосредственному наблюдению. Восстановить необходимую для расчетов информацию принципиально возможно двумя способами. Во-первых, можно попытаться привести цены старых изделий, существовавшие в период их продажи, к сегодняшнему уровню цен, пользуясь индексами цен на продукцию машиностроения. Во-вторых, если изделия старых поколений еще эксплуатируются, можно взять за основу лизинговые ставки. Именно такой способ применялся для восстановления значений амортизационных отчислений на летный час и пассажиро-километр для самолетов Boeing-737-200 Advanced и Boeing-737 Classic (см. рис. 2.4).

Как видно из этих рисунков, сокращение удельного расхода топлива на протяжении указанного периода происходило, но все более медленно. При этом повышение топливной экономичности сопровождалось прогрессирующим удорожанием самих изделий. Аналогичное поведение демонстрируют тренды большинства массогабаритных, технико-экономических, экологических и др. характеристик гражданской авиатехники, подробнее см. [159]. Следовательно, сложившаяся ситуация в сфере развития гражданской авиатехники соответствует верхнему участку *S*-образной кривой.

### *2.1.3. Анализ технологических факторов, определяющих уровень технико-экономических характеристик гражданской авиатехники*

Более обоснованно оценить перспективы совершенствования гражданской авиатехники, а также сравнить эффективность различных направлений НИОКР позволит анализ технических факторов, которые определяют уровень технико-экономического совершенства ЛА. Данный подраздел не претендует на научную новизну – он лишь призван создать комплексное представление о процессах развития гражданской авиатехники. Автору представляется весьма перспективным применение к системному анализу будущего авиации *техноэволюционного* подхода, развиваемого отечественными учеными Б.И. Кудриным, В.И. Гнатюком и др. [38, 101, 102]. В рамках этого подхода, развитие техники и технологий рассматривается не изолированно, а в составе больших технических систем – *техноценозов*, включающих в себя взаимодействующие изделия и технологии различных типов и назначения. Примерами техноценозов являются гражданская авиация, транспорт в целом и более масштабные совокупности технических систем. По отношению к конкретным изделиям и технологиям, техноценозы играют роль внешней среды. Факторы этой среды – доступность ресурсов (в данном случае, ГСМ), стандарты (экологические, стандарты безопасности, и др.), требования совместимости с взаимодействующими изделиями и технологиями (например, аэродромами и аэропортами), и др. являются основными движущими и направляющими силами *техноэволюции*, т.е. процесса разви-

тия технологий, который отнюдь не идет произвольным образом по воле отдельных конструкторов или менеджеров – напротив, их решения являются вынужденной реакцией на воздействия технологической макросреды.

Прежде всего, рассмотрим факторы, определяющие значения удельного расхода топлива транспортных самолетов. Для оценки потребления авиатоплива за рейс используется широко известная *формула Бреге* [10, 54, 136], которая здесь будет выведена в упрощенном виде, достаточном для оценок по порядку величины. Обозначим $M(t)$ массу летательного аппарата в момент $t \in [0;T]$, где $T$ – общая продолжительность крейсерского полета (время отсчитывается от его начала). Она складывается из следующих слагаемых[1]:

$M_0 = M_К + M_{ПН}$ - масса конструкции ЛА и полезной нагрузки, которая не меняется в течение полета;

$M_Т(t)$ – масса топлива в момент $t \in [0;T]$. Здесь рассматривается именно топливо, которое полностью расходуется за время крейсерского полета, поэтому $M_Т(T) = 0$, а $M_Т(0) = G$ – запас топлива на крейсерский полет. Итак,

$$M(t) = M_К + M_{ПН} + M_Т(t) = M_0 + M_Т(t). \qquad (2.8)$$

В установившемся крейсерском полете сила тяжести уравновешена подъемной силой, а сила сопротивления – силой тяги силовой установки[2]. Для простоты выкладок будем считать, что все силы выражены в тонно-силах (тс), несмотря на то, что это внесистемная единица измерения – тогда, например, сила тяжести численно будет равна массе ЛА. Отношение подъемной силы, действующей на ЛА, к силе сопротивления равно *аэродинамическому качеству* летательного аппарата. Оно характеризует аэродинамическое совершенство ЛА. Обозначим $K$ значение аэродинамического качества в крейсерском полете, а $P(t)$ – силу тяги, потребную для поддержания установившегося полета в момент $t$. Из условия равновесия ее можно выразить следующим образом:

$$P(t) = \frac{M(t)}{K}. \qquad (2.9)$$

Топливная экономичность силовой установки характеризуется часовым расходом топлива $\gamma$, выраженным в тоннах в час в расчете на тонно-силу тяги. Тогда расход топлива ЛА в единицу времени можно выразить следующим образом:

$$-\frac{\partial M_Т}{\partial t} = \gamma \cdot P(t) = \frac{\gamma}{K} \cdot M(t) \qquad (2.10)$$

[1] Строго говоря, помимо массы конструкции, необходимо учитывать массу технологических жидкостей и т.п. Детальная классификация массовых характеристик летательных аппаратов приведена, например, в книге [136].

[2] В общем случае, вектор силы тяги может быть направлен под некоторым углом к направлению полета.

Однако, поскольку составляющая $M_0$ в течение крейсерского полета не изменяется, $\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial M_{\text{Т}}}{\partial t}$, и вышеприведенное дифференциальное уравнение становится уравнением в разделяющихся переменных:

$$-\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\gamma}{K} \cdot M(t);$$

$$\Rightarrow \frac{\partial M}{\partial t} \Big/ M(t) = -\frac{\gamma}{K}.$$

Его решение имеет широко известный вид:

$$M(t) = C \cdot \exp\left(-\frac{\gamma}{K} \cdot t\right), \tag{2.11}$$

где $C$ – константа, определяемая из начальных условий. Поскольку $M(0) = M_0 + G$, зависимость массы ЛА от времени имеет следующий вид:

$$M(t) = (M_0 + G) \cdot \exp\left(-\frac{\gamma}{K} \cdot t\right),\ t \in [0;T]. \tag{2.12}$$

Поскольку $M_{\text{Т}}(T) = 0$,

$$\Rightarrow M(T) = M_0 = (M_0 + G) \cdot \exp\left(-\frac{\gamma}{K} \cdot T\right).$$

Из последнего тождества можно выразить запас топлива, необходимый для крейсерского полета продолжительностью $T$:

$$G = \left[\exp\left(\frac{\gamma}{K} \cdot T\right) - 1\right] M_0. \tag{2.13}$$

Формула Бреге связывает дальность полета и потребный запас топлива. Если полет происходит с постоянной крейсерской скоростью $v$, продолжительность крейсерского полета можно выразить следующим образом:

$$T = \frac{L}{v}, \tag{2.14}$$

где $L$ – дальность полета. При этом будет выполнен следующий объем транспортной работы, выраженной в тонно-километрах:

$$W = M_{\text{ПН}} \cdot L. \tag{2.15}$$

Выразим удельный расход топлива в расчете на тонно-километр:

$$g = \frac{G}{W} = \frac{\exp\left(\frac{\gamma}{K} \cdot \frac{L}{v}\right) - 1}{L} \cdot \frac{M_0}{M_{\text{ПН}}}. \tag{2.16}$$

Обозначим $\beta$ отношение массы конструкции ЛА к массе полезной нагрузки:

$$\beta = \frac{M_{\text{К}}}{M_{\text{ПН}}}. \tag{2.17}$$

Чем ниже это отношение, тем выше весовое совершенство ЛА. Таким образом, можно выразить удельный крейсерский расход топлива через обобщенные показатели технического совершенства ЛА и его систем:

$$g = \frac{G}{W} = \frac{\exp\left(\frac{\gamma}{K} \cdot \frac{L}{v}\right) - 1}{L} \cdot (1 + \beta). \qquad (2.18)$$

Разумеется, эта модель содержит существенные упрощения. Например, здесь не учитывается запас топлива, необходимый для взлета и посадки (в принципе, его легко учесть в составе $M_0$). Кроме того, при выводе формулы Бреге предполагается, что, по мере расходования топлива и уменьшения массы ЛА, пропорционально сокращаются потребная тяга силовой установки и часовой расход топлива. Однако в реальности при изменении тяги величина $\gamma$ меняется, т.е. $\gamma = \gamma(P)$. Также по мере изменения потребной подъемной силы, строго говоря, меняется аэродинамическое качество. Однако даже такая упрощенная модель позволяет оценить порядок величины удельного расхода топлива и влияние, которое на него оказывают различные составляющие технического совершенства ЛА. Чтобы убедиться в реалистичности полученной формулы, проведем иллюстративный расчет. Примем следующие исходные параметры, соответствующие техническому уровню современных гражданских самолетов и авиадвигателей: часовой расход топлива $\gamma$ = 0,5 т/тс·ч; аэродинамическое качество в крейсерском полете $K$ = 12; крейсерская скорость $v$ = 800 км/ч; отношение массы конструкции к массе полезной нагрузки $\beta$ = 2. На рис. 2.5 изображен график вычисленной по формуле (2.18) зависимости удельного расхода топлива от дальности полета в диапазоне от 2 000 до 10 000 км.

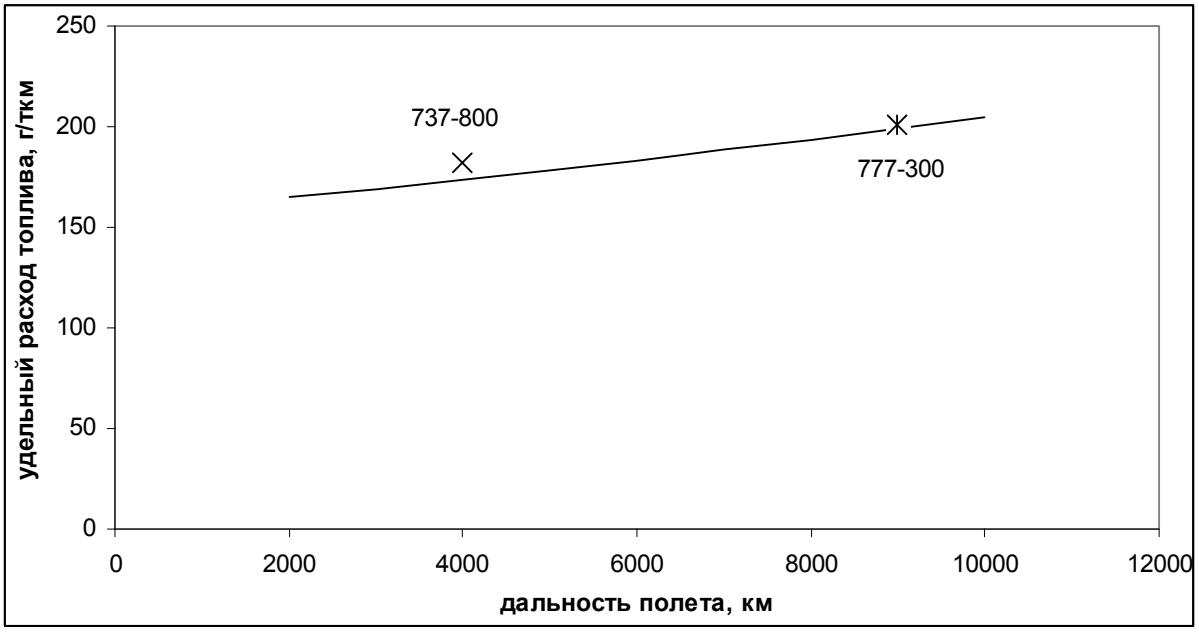


Рис. 2.5. Зависимость удельного расхода топлива от дальности полета

Для сравнения, на график нанесены точки, соответствующие реальным пассажирским самолетам – среднемагистральному самолету Boeing-737-800 и дальнемагистральному самолету Boeing-777-300[1]. С учетом чрезвычайно упрощенного характера используемой здесь модели Бреге, можно считать, что соответствие формулы (2.18) реальным данным – удовлетворительное, и полученной зависимостью можно пользоваться для получения качественных выводов.

Качественный анализ полученного выражения (2.18) показывает, что удельный расход топлива сокращается, как и следовало ожидать, при снижении часового расхода топлива силовой установкой, при повышении аэродинамического качества и весового совершенства ЛА:

$$\frac{\partial g}{\partial \gamma} > 0;\ \frac{\partial g}{\partial K} < 0;\ \frac{\partial g}{\partial \beta} > 0.$$

Менее очевидны выводы об относительной эффективности улучшения трех перечисленных составляющих технического совершенства авиатехники. Оценим, пользуясь формулой (2.18), эластичность удельного расхода топлива по каждому из перечисленных параметров. Она показывает, на сколько процентов сократится удельный расход топлива при улучшении значения того или иного параметра на 1 %. Если эластичности по часовому расходу топлива и по аэродинамическому качеству больше единицы по абсолютной величине:

$$\left|\varepsilon_{\gamma}^{g}\right| = \left|\frac{\partial g}{\partial \gamma} \Big/ \frac{g}{\gamma}\right| > 1;\ \left|\varepsilon_{K}^{g}\right| = \left|\frac{\partial g}{\partial K} \Big/ \frac{g}{K}\right| > 1,$$

то эластичность по показателю весового совершенства заведомо ниже единицы:

$$\left|\varepsilon_{\beta}^{g}\right| = \left|\frac{\partial g}{\partial \beta} \Big/ \frac{g}{\beta}\right| < 1,$$

т.е. улучшение этого показателя, при прочих равных, менее эффективно, чем улучшение аэродинамических характеристик планера и топливной экономичности силовой установки. В самом деле, даже если бы удалось сделать конструкцию ЛА практически невесомой (при условии сохранения приемлемой прочности), удельный расход топлива не станет равным нулю:

$$\lim_{\beta \to 0} g = \frac{\exp\left(\frac{\gamma}{K} \cdot \frac{L}{v}\right) - 1}{L} > 0, \qquad (2.19)$$

поскольку тяга силовой установки (и, следовательно, топливо) потребуется для того, чтобы перемещать полезную нагрузку и само потребное для этого топливо. Наиболее эффективный, на первый взгляд, способ сокращения удельного расхода топлива – снижение часового расхода топлива силовой установкой. Именно в этом направлении, в основном, происходило совер-

[1] Хотя, строго говоря, для этих самолетов различаются как значения аэродинамического качества, так и значения параметра $\beta$, о чем подробнее будет сказано ниже.

шенствование гражданской авиатехники на начальном этапе развития пассажирских самолетов с ГТД. Однако именно поэтому возможности улучшения в данном направлении были исчерпаны раньше всего. Если в начале 1960-х гг. удельный расход топлива газотурбинных двигателей принимал значения 0,9..1,1 т/тс·ч, а к началу 1980-х гг. его удалось сократить до 0,6..0,7 т/тс·ч, то лучшие образцы авиадвигателей, созданных к концу XX века, достигли уровня 0,5 т/тс·ч [57]. То есть, удельный расход топлива, хотя и сокращается со временем, но с убывающим темпом.

В принципе, на основе фундаментальных физических закономерностей можно оценить теоретический предел сокращения часового расхода топлива, или, точнее, отношения $\left(\frac{\gamma}{v}\right)$, которое и входит в формулу (2.18). Если силовая установка расходует $(\gamma \cdot P)$ тонн авиатоплива в час, она может совершить за час следующую работу:

$$A = \eta \cdot \rho \cdot \gamma \cdot P, \tag{2.20}$$

где $\rho$ – теплотворная способность авиатоплива данного вида;

$\eta$ – КПД силовой установки. В качестве теоретического предела данной величины следует принять КПД теплового двигателя, работающего по т.н. *циклу Карно*. Реальный рабочий цикл ГТД весьма далек от цикла Карно (подробнее см. [15, 148]), что, в принципе, означает наличие некоторых резервов улучшения характеристик.

С другой стороны, работа силовой установки за час равна произведению силы тяги на скорость полета:

$$A = v \cdot P. \tag{2.21}$$

Таким образом, искомое отношение можно выразить в следующем виде:

$$\frac{\gamma}{v} = \frac{1}{\eta \cdot \rho}. \tag{2.22}$$

Его сокращение может быть достигнуто за счет повышения КПД силовой установки либо использования топлива с большей теплотворной способностью. Однако в этом случае необходимо соотносить выигрыш в удельном расходе топлива с возможным удорожанием последнего, вычисляя с помощью формулы (2.18) стоимостные затраты топлива на тонно-километр. Кроме того, если предполагается использование криогенного топлива, может измениться в худшую сторону показатель весового совершенства $\beta$. Этот пример показывает, что эффективность тех или иных решений, нацеленных на сокращение удельного расхода ГСМ (а также на улучшение любых других технико-экономических характеристик гражданской авиатехники), следует оценивать в комплексе.

Что касается аэродинамического совершенства планера, внешний облик и компоновка пассажирских самолетов с ГТД слабо менялись на протяжении десятков лет. Разумеется, развитие методов аэродинамических

расчетов, совершенствование местной аэродинамики ЛА также имеет место, но не приносит значительного повышения аэродинамического качества. Наиболее значимыми вехами в данном направлении были, во-первых, внедрение суперкритических профилей крыла, разнообразных законцовок крыла и т.п., и, во-вторых, использование статически неустойчивых аэродинамических компоновок, позволивших снизить балансировочное сопротивление. Последнее новшество, хотя и касается непосредственно аэродинамики, обязано своим распространением достижениям в другой области авиационной науки - динамике полета и теории систем управления ЛА. Проектирование статически неустойчивых гражданских самолетов стало возможным благодаря внедрению электродистанционной системы управления (ЭДСУ), причем, уровень ее надежности должен быть достаточным для безопасного выполнения полетов с пассажирами. Дальнейшее повышение аэродинамического качества ЛА, возможно, потребует использования активных (в т.ч. энергетических) методов управления обтеканием[1]. Также нельзя исключать возможности применения нетрадиционных компоновок, например, типа «летающее крыло». Последнее решение может быть выгодным и с точки зрения весового совершенства, поскольку для такой компоновки вес полезной нагрузки более равномерно распределяется по несущей поверхности. Традиционная компоновка транспортных самолетов обладает, с точки зрения прочности, тем недостатком, что подъемную силу воспринимает, в основном, крыло, а вес полезной нагрузки – фюзеляж, что создает неравномерные концентрированные нагрузки, требует усиления силового набора и т.п. Более подробно и корректно перечисленные решения проанализированы, например, в книгах [24, 51, 144, 148].

Несмотря на то, что, как было показано выше, повышение весового совершенства планера менее эффективно, чем улучшение его аэродинамических характеристик или повышение топливной экономичности силовой установки, возможности радикального улучшения двух последних параметров практически исчерпаны. Поэтому в последние годы ведущие самолетостроительные компании мира уделяют наибольшее внимание именно повышению весового совершенства – в основном, за счет применения новых материалов (прежде всего, полимерно-композитных, ПКМ). Так, доля ПКМ в массе конструкции новейшего дальнемагистрального пассажирского самолета Boeing-787 Dreamliner составляет более 50 % [177], тогда как у пассажирских самолетов, разработанных в 1980–1990-е гг. – 10–20 %. Тем не менее, как показано выше, резервы снижения удельного расхода топлива за счет повышения весового совершенства принципиально ограничены. Кроме того, как показано в работах [122, 123], применение ПКМ оправдано (как с технической, так и с экономической точки зрения) далеко не во всех элементах конструкции планера. Это признают и зарубежные компании-лидеры внедрения ПКМ в серийное производство гражданских самолетов.

[1] Разумеется, их эффективность нуждается в комплексной оценке, с учетом потребных энергозатрат.

Анализ формулы (2.18) показывает, что с ростом требуемой дальности полета удельный расход топлива возрастает: $\frac{\partial g}{\partial L} > 0$. Т.е. при прочих равных дальнемагистральные самолеты обладают худшими расходными характеристиками, по сравнению со среднемагистральными. Действительно, если крейсерский удельный расход топлива среднемагистральных самолетов Boeing-737-800 составляет менее 20 г/пасс.-км (см. рис. 2.3), то аналогичный показатель современного им дальнемагистрального самолета Boeing-777-300ER составляет уже около 25 г/пасс.-км (см. [177]). Физические истоки данного эффекта проясняются в процессе вывода формулы Бреге: дальнемагистральный самолет вынужден нести больший запас топлива, что, в свою очередь, увеличивает взлетную массу ЛА, потребную тягу двигателей и потребление топлива. При больших дальностях полета топливо, фактически, в немалой степени «везет само себя». Строго говоря, и отношение массы конструкции к массе полезной нагрузки, обозначаемое в данной модели $\beta$, также зависит от дальности полета. Поскольку дальнемагистральный самолет несет большую массу топлива, требуются более вместительные топливные баки, и т.д., т.е. $\frac{\partial M_K}{\partial G} > 0$ Для наглядной иллюстрации описанных закономерностей, на рис. 2.6 изображена структура взлетной массы двух пассажирских самолетов, принадлежащих к одному поколению:

- среднемагистрального самолета Boeing-737-800 при полете на дальность 4 000 км;
- дальнемагистрального самолета Boeing-777-300 при полете на дальность 9 000 км.

В обоих случаях дальность далека от максимальной для данного типа изделий, и практически не приходится жертвовать полезной нагрузкой, чтобы взять на борт больше топлива.

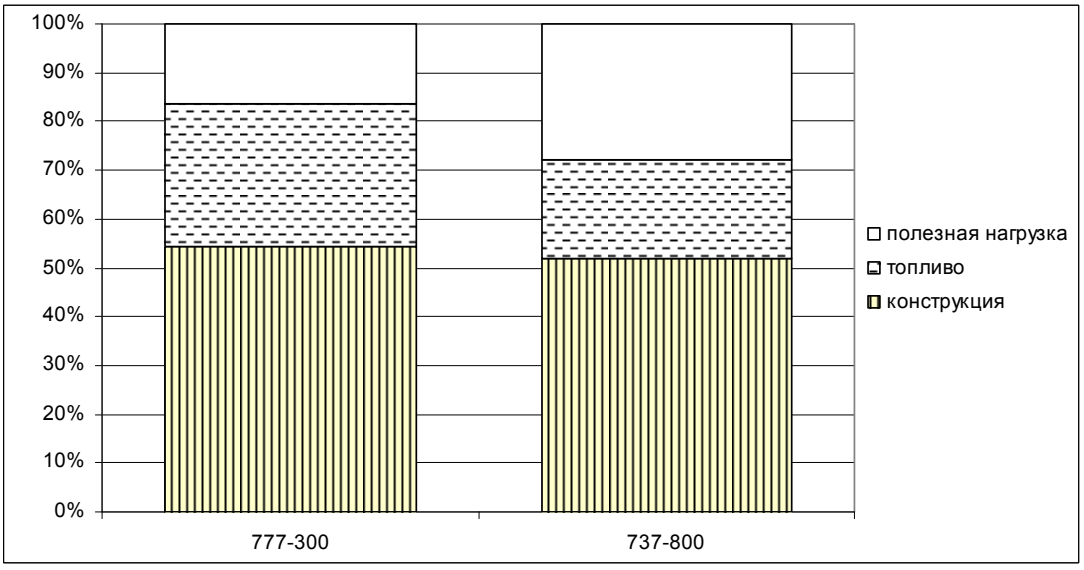

Рис. 2.6. Сравнение структуры взлетной массы дальнемагистрального и среднемагистрального самолетов

Источником исходных данных послужили официальные документы компании Boeing [177]. Строго говоря, под массой конструкции здесь подразумевался показатель *OEW*, *Operating Empty Weight*, т.е. масса снаряженного самолета с экипажем, необходимым оборудованием, аварийным остатком топлива и т.п., но без топлива на полет и полезной нагрузки. Сравнение показывает, что доли массы топлива и массы конструкции существенно выше для дальнемагистрального самолета, чем для среднемагистрального, как и было сказано выше.

Поскольку удельный вес перевозок на дальних маршрутах неуклонно возрастает в последние десятилетия (подробнее см. [182, 183]), сокращение потребления авиатоплива дальнемагистральными самолетами весьма актуально. Проведенные выше рассуждения подсказывают простой, на первый взгляд, способ приблизить удельный расход топлива дальнемагистральных самолетов к уровню среднемагистральных уже при нынешнем уровне технико-экономического совершенства ЛА и силовых установок. Следует не брать на борт сразу все необходимое топливо, а дозаправлять его в воздухе на маршруте. Такая практика широко распространена в военной сфере. В работах отечественных и зарубежных авторов [25, 71, 156] проведены оценки экономической эффективности дозаправки гражданских самолетов в воздухе, предложены методы оптимальной организации выполнения полетов с дозаправкой. Разумеется, внедрение дозаправки в воздухе в практику гражданской авиации требует решения целого ряда комплексных проблем (в т.ч. в сфере безопасности полетов), однако, с точки зрения специалистов в области динамики полета и управления движением ЛА, надежности и безопасности авиатехники [116], эти проблемы принципиально разрешимы уже при нынешнем технологическом уровне отрасли.

К настоящему времени топливная экономичность современных гражданских самолетов уже достигла уровня, не уступающего уровню наземных видов транспорта (при несопоставимо большей крейсерской скорости, отсутствии потребности в дорожной инфраструктуре и т.д.). В самом деле, удельный расход на уровне 20–25 г/пасс.-км означает, что на 100 км пути авиапассажиру требуется 2–2,5 кг топлива. Для сравнения, современный легковой автомобиль расходует на 100 км порядка 5–10 кг топлива, и может перевозить 4–5 человек. В то же время, гражданские воздушные суда корректнее сравнивать не с персональным наземным транспортом (легковыми автомобилями), а с общественным, который способен обеспечить существенно лучшую экономичность. Так, междугородный автобус способен перевозить порядка 40–50 человек, расходуя около 25–40 кг топлива на 100 км, т.е. удельный расход топлива составляет около 5–10 г/пасс.-км. Рельсовый транспорт, за счет меньшего сопротивления движению, способен обеспечить еще меньшие значения удельного расхода топлива (точнее,

энергии в топливном эквиваленте, поскольку железнодорожный подвижной состав может быть переведен на электротягу).

Так или иначе, даже нынешний, весьма низкий уровень потребления авиатоплива является неприемлемо высоким для обеспечения массовой доступности воздушного транспорта, устойчивого развития в условиях энергетических и экологических ограничений. Возможно, решение лежит на пути использования более дешевых и экологически чистых, по возможности, возобновляемых видов топлива (например, биотоплива[1]). В области использования альтернативных видов авиатоплива отечественные двигателестроители обладают значительным заделом и до недавнего времени лидировали в мировом авиационном двигателестроении. Так, на базе Ту-154 были созданы и успешно испытаны летающие лаборатории Ту-155/156 с двигателями, работающими на природном газе или водороде, см. [47, 148]. Были решены не только проблемы обеспечения безопасности хранения криогенного топлива на борту летательного аппарата (при сохранении приемлемого уровня весового совершенства), но и технологические проблемы создания необходимой для эксплуатации подобной техники наземной инфраструктуры – прежде всего, топливохранилищ и топливозаправочного оборудования. Россия обладает значительными запасами природного газа, и его применение в ряде регионов может быть экономически выгодным уже сейчас, подробнее см. [20]. Еще в 1995 г. на Международном авиакосмическом салоне в г. Жуковском был продемонстрирован предсерийный образец вертолета Ми-8ТГ с битопливной газово-керосиновой топливной системой, способный работать на сжиженном природном газе, керосине, или их смеси, а первые летные испытания подобной топливной системы для вертолета проводились еще в 1980-х гг., см. [96]. Предполагалось, что преимущественной областью применения таких вертолетов станут газодобывающие регионы Крайнего Севера, где возможность использования местного сырья (в т.ч. попутного нефтяного газа, который нередко просто сжигается) исключала бы необходимость дорогостоящей доставки авиакеросина в рамках т.н. *«северного завоза»*.

Безусловно, помимо затрат на ГСМ, необходимо учитывать и другие существенные составляющие себестоимости авиаперевозок – прежде всего, амортизационные отчисления и затраты на ТОиР. Что касается амортизационных отчислений, они по мере совершенствования гражданской авиатехники могут даже возрастать (см. рис. 2.4), однако дороговизна более современной авиатехники оправдана меньшими значениями расхода топлива и трудоемкости ТОиР. Затраты на ТОиР зависят не только (и, возможно, не столько) от надежности изделий как таковых, но и от организации ТОиР. Существенную роль здесь играет предоставление авиакомпаниям новых видов сервисных услуг, внедрение *интегрированной логистической под-*

[1] Впрочем, и его массовое применение создает ряд системных проблем, в т.ч., приводящих к результатам, противоположным ожидаемым, подробнее см. [80] и п. 5.3.

*держки* (ИЛП) эксплуатации авиатехники, развитие распределенной сети региональных ремонтных центров и складов, подробнее см. [74, 78, 79]. Важным шагом в снижении затрат авиакомпаний на приобретение и ТОиР авиатехники был переход к ее *эксплуатации по техническому состоянию* (ЭТС), без установления единого ресурса для всего парка, подробнее см. [8].

Сокращение взлетной массы положительно отражается и на других составляющих себестоимости авиаперевозок – прежде всего, аэропортовых и аэронавигационных сборов, ставки которых увеличиваются с ростом максимальной взлетной массы ЛА. Еще одна существенная составляющая затрат авиакомпаний – затраты на оплату труда экипажей – на первый взгляд, слабо связана с техническим уровнем воздушных судов. Однако автоматизация управления движением ЛА и работой его систем позволила практически на всех классах гражданских самолетов (вплоть до крупнейших в мире пассажирских самолетов А-380 западноевропейского консорциума Airbus Industry) ограничить численность экипажа двумя членами, исключив из его состава штурманов, бортинженеров, радистов и т.п. При высоких ставках оплаты труда летных экипажей это обеспечивает значительную экономию. Однако, помимо собственно летного экипажа, на пассажирских воздушных судов работают бортпроводники, труд которых практически не поддается автоматизации. В отличие от летного экипажа, необходимый штат бортпроводников увеличивается практически пропорционально пассажировместимости воздушных судов.

В работах [22, 62] приведен более полный перечень возможных инновационных конструктивно-технологических решений в сфере гражданского авиастроения. Те же решения лежат в основе долгосрочной стратегии развития гражданского авиастроения в ведущих авиационных державах мира. Так, национальный план исследований и разработок в области авиации, принятый в США в декабре 2007 г. [165], предусматривает для следующего поколения воздушных судов ($N$+1-го, если за $N$ принять современные изделия) сокращение удельного расхода топлива в среднем на 33 % относительно уровня 1998 г. – в основном, за счет использования ПКМ в конструкции планера, авиадвигателей с большой степенью двухконтурности, некоторого улучшения аэродинамики, но при сохранении традиционной аэродинамической компоновки. В следующем, $N$+2-м поколении изделий, создание которого предполагается после 2025 г., планируется снизить удельный расход топлива уже на 40 % относительно уровня 1998 г. Для этого придется отказаться от традиционной аэродинамической схемы, используя компоновки с несущим фюзеляжем, «летающее крыло» и т.п. Заметим, что планируемый прирост топливной эффективности с каждым поколением все ниже, поскольку учитывается исчерпание резервов совершенствования традиционных технологий. Гораздо более амбициозные цели ставятся применительно к $N$+3-му поколению, появление которого ожидается после 2035 г. Планируется сокращение удельного расхода на 70 % относительно уровня 1998 г. Однако конструктивно-технологические решения, способные обеспечить

такой прорыв, не конкретизируются, поскольку необходимый научно-технический задел еще только предполагается создать.

Проведенный в данном разделе анализ показывает, что резервы сокращения различных составляющих эксплуатационных затрат гражданских самолетов действительно близки к исчерпанию. Это означает, что достижение качественного превосходства на базе имеющегося научно-технологического задела становится практически невозможным. Необходимы радикальные инновации на основе нового научного задела, для создания которого потребуется активизация НИР в области авиастроения. Некоторые проблемы организации таких исследований обсуждаются в п. 4.3. Как показывает краткий обзор, проведенный в данном разделе, повышение экономической эффективности гражданской авиатехники требует исследований по всем направлениям авиационной науки – аэродинамики, прочности ЛА, динамики полета и управления движением ЛА, газовой динамики силовых установок, теории надежности и т.д. При этом соображения улучшения отдельных показателей технико-экономического совершенства воздушных судов могут вступать в противоречие друг с другом. Например, снижение удельного расхода топлива требует повышения КПД авиадвигателей. При заданном типе рабочего цикла, КПД теплового двигателя тем выше, чем большей температуры достигает газовоздушная смесь. Однако повышение рабочих температур требует применения в конструкциях ГТД новых дорогостоящих материалов, а также отрицательно сказывается на долговечности и безотказности деталей и узлов авиадвигателей, повышая уровень амортизационных затрат и расходов на ТОиР. В свою очередь, повышение технико-экономического совершенства ЛА, как правило, сопровождается ростом затрат на его разработку и производство. Теория проектирования ЛА (подробнее см. [10, 54, 136]) является самостоятельной системной дисциплиной, нацеленной на оптимальное разрешение подобных противоречий.

## 2.2. Модели рынков модернизации гражданской авиатехники

Среди различных видов производственной деятельности авиационной промышленности важное место занимает модернизация авиатехники. Согласно распространенному определению [6], «модернизация – это изменение конструкции, состава бортового оборудования и т.п. для улучшения характеристик летательного аппарата без изменения его целевого предназначения». В ходе модернизации, ранее выпущенные изделия могут приобретать новые эксплуатационные свойства, может повышаться их надежность, или снижаться уровень эксплуатационных затрат. В периоды, когда создание принципиально новых поколений авиатехники, удовлетворяющих условию (2.3), затруднено, качественное обновление имеющегося парка происходит, главным образом, путем его модернизации.

Для оценки спроса на этот вид работ и услуг, необходимо построить модель принятия решения о модернизации авиатехники. Рассмотрим весьма распространенную в гражданском секторе рынка авиатехники ситуацию, когда модернизация направлена на снижение уровня эксплуатационных затрат, в частности, затрат на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), на авиатопливо, и др. Эксплуатирующие организации принимают решение при наличии следующих альтернатив:

1) продолжить эксплуатацию старой авиатехники до выработки ей ресурса без модернизации;

2) списать старую авиатехнику немедленно и заменить на изделия нового поколения;

3) модернизировать старую авиатехнику.

Предположим, что старое изделие имеет остаток ресурса, равный $\delta \cdot T^{\text{стар}}$, где $\delta$ – неизрасходованная на данный момент доля ресурса. Обозначим цену изделий нового поколения $P^{\text{нов}}$, их ресурс в летных часах – $T^{\text{нов}}$, а текущие *операционные затраты* (т.е., затраты на ТОиР и авиатопливо) в расчете на летный час – $c_{\text{опер}}^{\text{стар}}$ и $c_{\text{опер}}^{\text{нов}}$, соответственно, для старого и нового поколений авиатехники. Разовые вложения в модернизацию изделия обозначим $\Delta P$, уровень операционных расходов модернизированных изделий (в расчете на летный час) – $c_{\text{опер}}^{\text{мод}}$. Как правило, выполняется следующее соотношение:

$$c_{\text{опер}}^{\text{нов}} < c_{\text{опер}}^{\text{мод}} < c_{\text{опер}}^{\text{стар}}.$$

Что касается остатка ресурса модернизированных изделий $\Delta T^{\text{мод}}$, он мог, как остаться неизменным, т.е., равным $\delta \cdot T^{\text{стар}}$, так и увеличиться. При этом весьма распространенный в странах бывшего СССР и в некоторых других регионах мира вид услуг, называемый *продлением ресурса* авиатехники[1], можно рассматривать как частный случай модернизации, когда $\Delta T^{\text{мод}} \gg \delta \cdot T^{\text{стар}}$, но $c_{\text{опер}}^{\text{мод}} = c_{\text{опер}}^{\text{стар}}$. Аналогичным образом эта общая модель позволяет описать случай, когда модернизация направлена на улучшение экологических характеристик самолетов и авиадвигателей. Например, установка звукопоглощающих устройств (ЗПК) на авиадвигатели Д-30КУ-154 позволяет самолетам Ту-154М уложиться в более жесткие требования по шуму на местности, и, тем самым, продлить период их коммерческой

[1] Продление ресурса, как правило, выполняется предприятием-изготовителем или разработчиком изделия, который, анализируя техническое состояние отдельных экземпляров изделий в парке, принимает решение о возможности продолжения эксплуатации тех экземпляров, износ которых (за счет относительно благоприятных условий эксплуатации, технического обслуживания, и т.п.) меньше ожидавшегося при установлении единого ресурса всем изделиям данного типа. При этом разработчики и производители принимают на себя ответственность за безопасность эксплуатации экземпляров с продленным ресурсом за пределами установленного ресурса.

эксплуатации на международных авиалиниях (подробнее см. [103] и п. 3.1), что также можно представить как $\Delta T^{\text{мод}} \gg \delta \cdot T^{\text{стар}}$; $c_{\text{опер}}^{\text{мод}} = c_{\text{опер}}^{\text{стар}}$.

Необходимо сравнить суммарные затраты на каждую альтернативу. Решение в пользу модернизации будет принято, если затраты в этом случае будут минимальными.

За период, соответствующий сроку исчерпания остатка ресурса старого изделия $\delta \cdot T^{\text{стар}}$, суммарные затраты составят:

– при эксплуатации старого изделия без модернизации

$$TC^{\text{стар}} = \delta \cdot T^{\text{стар}} \cdot c_{\text{опер}}^{\text{стар}}; \tag{2.23}$$

– при немедленной замене старых изделий на изделия нового поколения

$$TC^{\text{нов}} = \delta \cdot T^{\text{стар}} \cdot \left[ \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} \right]; \tag{2.24}$$

– при модернизации старого изделия

$$TC^{\text{мод}} = \delta \cdot T^{\text{стар}} \cdot \left[ \frac{\Delta P}{\Delta T^{\text{мод}}} + c_{\text{опер}}^{\text{мод}} \right]. \tag{2.25}$$

Если остаток ресурса в результате модернизации не увеличивается, затраты за указанный период можно выразить более простой формулой:

$$TC^{\text{мод}} = \Delta P + \delta \cdot T^{\text{стар}} c_{\text{опер}}^{\text{мод}} \tag{2.26}$$

Модернизация будет предпочтительнее эксплуатации старого изделия при условии:

$$TC^{\text{мод}} < TC^{\text{стар}},$$

или

$$\frac{\Delta P}{\Delta T^{\text{мод}}} < c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}}. \tag{2.27}$$

Однако модернизация авиатехники также должна быть предпочтительнее замены на новое поколение изделий, что соответствует условию:

$$TC^{\text{мод}} < TC^{\text{нов}},$$

или

$$\frac{\Delta P}{\Delta T^{\text{мод}}} < \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}}. \tag{2.28}$$

Заметим, что при выполнении неравенства

$$\frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} < c_{\text{опер}}^{\text{стар}}, \tag{2.29}$$

условие (2.28) заведомо жестче условия (2.27), поэтому достаточно рассмотреть лишь его. Как показано в п. 3.1, если выполняется последнее неравенство, при появлении на рынке нового поколения изделий, изделия старого поколения морально устаревают, и становится выгодно немедленно заменить их на новые. Если же, напротив,

$$\frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} > c_{\text{опер}}^{\text{стар}},$$

(т.е. изделия старого поколения не становятся морально устаревшими), достаточно проверить лишь выполнение условия (2.27), а условие (2.28) при этом выполняется автоматически. Следовательно, модернизация изделия старого поколения будет наиболее предпочтительной альтернативой, если ее цена $\Delta P$ будет не выше определенного порога $\Delta P_{\max}$:

$$\Delta P_{\max} = \Delta T^{\text{мод}} \cdot \min\left\{ c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}}; \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}} \right\}, \tag{2.30}$$

или, иначе говоря, если остаток ресурса модернизируемого изделия будет не меньше определенного порога $\Delta T_{\min}$:

$$\Delta T_{\min} = \frac{\Delta P}{\min\left\{ c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}}; \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}} \right\}}. \tag{2.31}$$

Заметим, что при $\Delta T_{\min} = T^{\text{стар}}$, невыгодно модернизировать даже самые “молодые” изделия в парке. Таким образом, соответствующее значение цены можно считать запретительной ценой для данного рынка:

$$\Delta P_{\text{запр}} = T^{\text{стар}} \cdot \min\left\{ c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}}; \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}} \right\}. \tag{2.32}$$

С другой стороны, иногда превосходство нового поколения изделий над модернизированными изделиями в части операционных затрат может быть настолько велико (т.е., $c_{\text{опер}}^{\text{мод}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}} > \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}}$), что модернизация становится невыгодной даже при нулевой цене.

В реальных расчетах необходимо учитывать временную стоимость денег. Учет этого фактора дает модернизации дополнительные преимущества, по сравнению с покупкой изделий нового поколения, поскольку начальные затраты на модернизацию, как правило, существенно ниже, чем на приобретение новых изделий: $\Delta P \ll P^{\text{нов}}$. Также повышению привлекательности более консервативных стратегий поведения эксплуатирующих организаций (т.е., модернизация вместо покупки новых изделий) могут способствовать рыночные механизмы: повышенный спрос на изделия нового поколения может привести к росту их цены, и, как следствие – к большей вероятности выполнения условия (2.28).

Заметим, что в данной модели определяющим фактором при принятии решения о модернизации или списании авиатехники становится остаток ресурса. Для оценки суммарного спроса на модернизацию необходимо знать распределение парка изделий данного типа по остатку ресурса. Обозначим:

$N$ – общую численность парка изделий данного типа, не исчерпавших к настоящему моменту свой ресурс;

$n(\delta)$ – число изделий, имеющих к настоящему моменту долю остаточного ресурса, равную $\delta$.

Тогда доля изделий, имеющих остаток ресурса не менее $\Delta T$, может быть вычислена по следующей формуле:

$$F(\Delta T) = \frac{1}{N} \sum_{\delta=\Delta T/T^{\text{стар}}}^{\delta=1} n(\delta). \qquad (2.33)$$

Если цена модернизации будет установлена на уровне $\Delta P$, суммарный спрос на услуги по модернизации можно оценить, объединив формулы (2.31) и (2.33):

$$Q^{\text{мод}}(\Delta P) = N \cdot F\left\{\Delta T_{\min}(\Delta P)\right\}. \qquad (2.34)$$

Чем выше доля изделий со значительным остатком ресурса, тем выше спрос на модернизацию при заданном уровне цены. Поэтому возрастная структура парка характеризует т.н. *модернизационный потенциал* данного типа изделий, т.е., емкость рынка работ по модернизации.

Если постоянные затраты производителя на программу модернизации обозначить $FC$, материальные затраты на модернизацию одного изделия – $c_{\text{мат}}$, а удельные трудовые затраты на модернизацию одного изделия сокращаются с ростом накопленного выпуска вследствие эффекта обучения по закону $c_{\text{тр}}(q)$, тогда ожидаемая прибыль от реализации всей программы модернизации составит:

$$\Pi = \left[\Delta P - c_{\text{мат}}\right] \cdot Q^{\text{мод}}(\Delta P) - \sum_{q=1}^{q=Q^{\text{мод}}(\Delta P)} c_{\text{тр}}(q) - FC. \qquad (2.35)$$

Если известны параметры, входящие в эту формулу, можно оценить оптимальный уровень цены работ по модернизации из условия $\frac{\partial \Pi}{\partial(\Delta P)} = 0$.

Приступая к разработке программы модернизации того или иного типа изделий, производитель должен, прежде всего, оценить их модернизационный потенциал и перспективы безубыточной реализации программы. По очевидным причинам (см. формулы (2.31), (2.34) и (2.35)), прибыль будет выше, если удастся достичь существенного сокращения эксплуатационных затрат, заменяя или дорабатывая сравнительно небольшую (в стоимостном выражении) долю элементов изделия.

Одним из основных рынков модернизации авиатехники является рынок *ремоторизации* воздушных судов [55, 176, 187], т.е., замены авиадвигателей на более совершенные. Основные причины популярности ремоторизации носят технико-экономический характер. С одной стороны, ресурс планера, как правило, выше характерного ресурса авиадвигателей. С другой стороны, в последние десятилетия удалось достичь существенного по-

вышения технико-экономического совершенства авиадвигателей (сокращения расхода топлива, увеличения надежности, улучшения экологических характеристик), в то время, как конструкция и уровень аэродинамического, весового, и др. совершенства планера не претерпевали столь существенных изменений.

Что следует считать в случае ремоторизации ценой модернизации, а что необходимо включать в состав операционных затрат? Единовременные затраты на переделку планера (усиление пилонов и крыла, и т.п.), топливной системы, систем управления, и т.п., однозначно следует включать в цену модернизации. Затраты на капитальный ремонт двигателей (в расчете на летный час) следует включить в состав операционных затрат, наряду с затратами на ГСМ и текущее ТО. Что касается затрат на приобретение новых авиадвигателей, их отнесение к той или иной категории затрат требует более детального анализа. Как правило, ремоторизация производится в момент, когда выработали свой ресурс авиадвигатели старого поколения. Если остаток ресурса планера столь значителен, что предполагает неоднократную полную выработку назначенного ресурса авиадвигателей нового поколения, тогда затраты на приобретение и периодическую замену старых и новых авиадвигателей корректнее включать (предварительно приводя к летному часу) в состав операционных затрат старого и модернизированного изделий $c_{\text{опер}}^{\text{стар}}$ и $c_{\text{опер}}^{\text{мод}}$. Если же новые авиадвигатели устанавливаются вместо старых авиадвигателей (возможно, имеющих остаток ресурса), и предполагается их списание вместе с планером самолета, затраты на приобретение новых авиадвигателей следует относить к разовым затратам на ремоторизацию $\Delta P$.

В качестве примера применения предлагаемой модели рынка модернизационных услуг, рассмотрим рынок ремоторизации парка четырехмоторных грузовых самолетов. Разумеется, пример носит условный, иллюстративный характер (в т.ч., и по причине закрытого характера многих исходных данных, необходимых для расчетов), хотя на практике подобные ситуации весьма распространены, см., например, [55, 176, 187].

Предположим, что в эксплуатации находится 1 000 воздушных судов данного типа, имеющих остаток ресурса. Распределение парка по остатку ресурса предполагается равномерным, т.е.,

$$F\left(\Delta T\right)=\frac{T^{\text{стар}}-\Delta T}{T^{\text{стар}}}=1-\frac{\Delta T}{T^{\text{стар}}}=1-\delta\,.$$

Эксплуатирующим организациям предлагаются следующие альтернативы:

- приобретение грузовых самолетов аналогичного класса, имеющих при той же грузоподъемности более низкие операционные затраты на летный час;

• ремоторизация эксплуатируемых в настоящее время самолетов путем замены авиадвигателей на более совершенные.

Технико-экономические параметры всех альтернатив приведены в табл. 2.2.

*Таблица 2.2*

Характеристики четырехмоторных грузовых самолетов старого и нового поколений, а также самолетов, прошедших ремоторизацию

| Параметры | Старое поколение | Модернизированные изделия | Новое поколение |
|---|---|---|---|
| Назначенный ресурс, л.ч. | 30 000 | 30 000 | 60 000 |
| Цена нового самолета, млн. долл. | – | 10* | 90 |
| Средняя стоимость ТОиР самолета и силовой установки, долл./л.ч. | 500 | 400 | 300 |
| Средний часовой расход топлива самолета, т/л.ч. | 6,0 | 4,0 | 3,0 |
| Межремонтный ресурс авиадвигателей, л.ч. | 4 000 | 8 000 | 12 000 |
| Цена капремонта авиадвигателя, млн. долл. | 1,5 | 2,0 | 4,0 |
| Итого, операционные затраты на л.ч.** | 6 200 | 4 200 | 3 400 |

* – стоимость ремоторизации;
** – при цене авиатоплива 700 долл./т.

Заметим, что условие (2.29) при таких параметрах старого и нового типа изделий выполняется, поэтому для каждого самолета в парке, по существу, решается дилемма – модернизировать или списать немедленно и заменить изделием нового поколения. Согласно формуле (2.28), модернизация при стоимости 10 млн долл. оказывается более предпочтительной, по сравнению с заменой самолетов на новые, если остаток ресурса изделия – не менее 14 300 летных часов, т.е., не менее 48 %. При данном распределении парка по остатку ресурса, это означает, что в ремоторизации нуждаются 520 самолетов.

На рис. 2.7 приведены полученные в данном примере графики зависимости суммарного спроса и суммарной выручки (в млрд долл., по вспомогательной оси ординат) от стоимости ремоторизации рассмотренного типа грузовых самолетов.

Замена авиадвигателей или бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) в ходе модернизации может быть обусловлена не только экономическими факторами, как в приведенной выше модели, но и неэкономическими – например, ужесточением экологических стандартов (что, в основном, касается авиадвигателей), требований по безопасности полетов

и эргономике (что характерно при замене БРЭО[1]). В этих случаях можно говорить о принудительной модернизации изделий. Также неэкономические причины нередко стимулируют модернизацию авиатехники военного

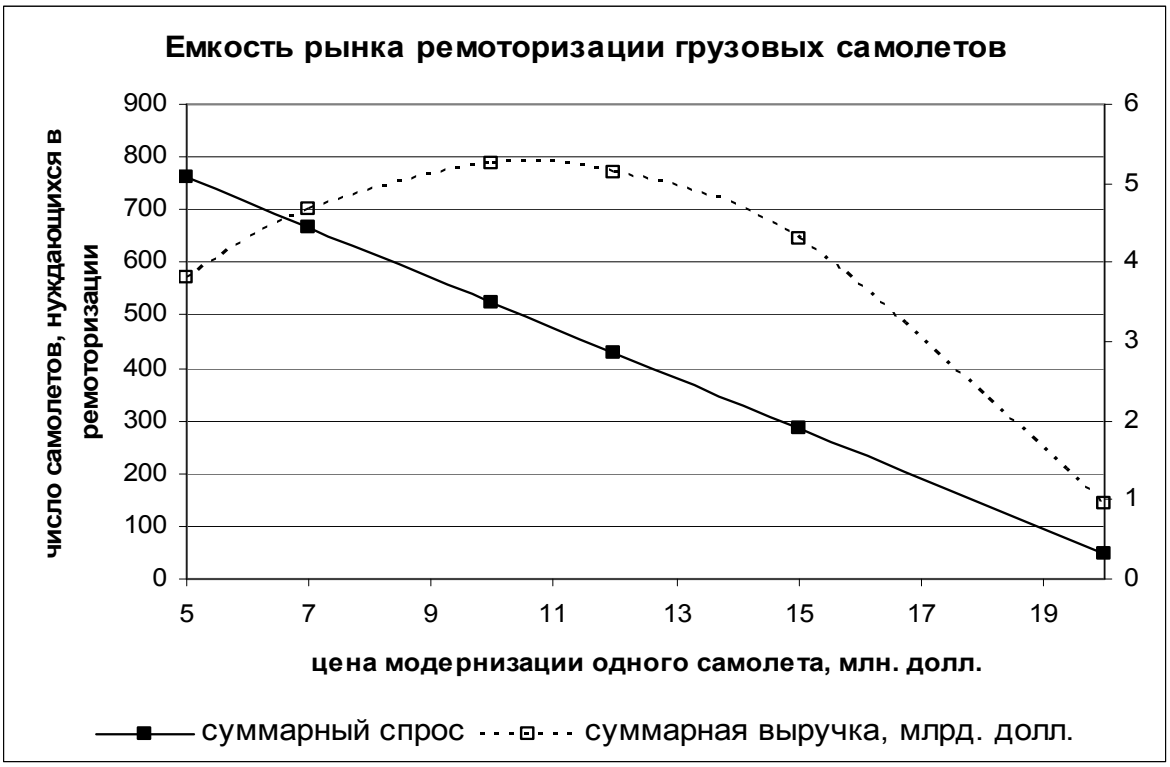


Рис. 2.7. Натуральные и стоимостные характеристики емкости рынка ремоторизации грузовых самолетов (пример)

назначения – замену БРЭО, систем управления вооружением и самого вооружения, и др. При этом, как упоминалось выше, планер, как правило, не нуждается в замене по причине относительно медленного улучшения параметров планера, по сравнению с прочими элементами воздушных судов.

В связи с этим, чрезвычайно показателен пример основного дальнего бомбардировщика ВВС США – B-52, стоящего на вооружении с 1950-х гг. Последний экземпляр модификации B-52H был выпущен в 1962 г., а окончательное списание этого типа самолетов планируется лишь в 2040-х гг., подробнее см. [60]. Разумеется, столь длительный жизненный цикл сопровождается неоднократной модернизацией силовой установки, бортового оборудования, систем вооружения, а также тщательным контролем технического состояния планера.

По оценкам российских и зарубежных экспертов, многие типы отечественных боевых самолетов и вертолетов также обладают существенным модернизационным потенциалом. Значительная численность парка этих изделий, находящихся в эксплуатации в ВВС зарубежных стран, делает

[1] При этом и замена БРЭО иногда может объясняться экономическими причинами. Например, если при установке нового комплекса БРЭО удается сократить число членов экипажа данного типа воздушных судов, и, как следствие – снизить потребный уровень затрат на оплату труда.

рынок их модернизации чрезвычайно емким и привлекательным. По оценкам специалистов ОКБ “МиГ”, приведенным в источнике [118], только емкость рынка модернизации истребителей отечественного производства, эксплуатируемых зарубежными странами, превышает в настоящее время 3,5 млрд долларов. Помимо значительной емкости, привлекательность рынка модернизации авиатехники для авиастроительных и авиаремонтных предприятий обусловлена следующим фактором. Нередко эксплуатирующие организации прибегают к модернизации принадлежащей им авиатехники в периоды дефицита средств на закупку изделий нового поколения, когда спрос на продукцию авиастроения падает. Следовательно, поток выручки от модернизации авиатехники способен частично демпфировать колебания выручки от продажи новых изделий в неблагоприятные для авиационной промышленности периоды.

В связи с этим, услуги и работы по модернизации отечественной авиатехники военного назначения активно предлагают не только (и, к сожалению, не столько) российские предприятия-разработчики и производители, но и зарубежные компании. Ряд независимых предприятий за рубежом, как правило, выросших из авиаремонтных предприятий, в настоящее время специализируется на глубокой модернизации авиатехники. Прежде всего, следует упомянуть одного из лидеров мирового рынка модернизации авиатехники как гражданского, так и военного назначения – израильскую компанию IAI, Israel Aircraft Industries, имеющую годовой оборот порядка 3 млрд долл. [33, 181]. Как авиастроительные компании, так и независимые производители разрабатывают современные технологии модернизации не только планера, но также авиадвигателей[1] и бортового оборудования. Таким образом, современные рынки услуг по модернизации, как и рынки прочих видов послепродажного сопровождения авиатехники (подробнее см. [78]), характеризуются чрезвычайно жесткой конкуренцией, и статус разработчика изделия отнюдь не гарантирует предприятию монопольное положение на рынке его модернизации.

Анализируя выражение (2.34) для емкости рынка модернизации, можно сделать еще один важный качественный вывод. Поскольку весь потенциальный спрос на модернизацию не может быть удовлетворен мгновенно, старые изделия продолжают эксплуатироваться, сокращается остаток их ресурса, а вместе с ним – и модернизационный потенциал данного типа изделий. В рамках приведенного выше примера, рассмотрим динамику емкости ремоторизации парка грузовых самолетов, если среднегодовой

[1] Так, например, в ходе капитального ремонта авиадвигателей Д-30КУ-154 возможна установка вместо штатной камеры сгорания новой, малоэмиссионной камеры сгорания, разработанной ОАО “НПО “Сатурн” совместно с ЦИАМ им. П.И. Баранова, [103, 187]. Такая модернизация, по сообщению разработчика, позволяет самолетам Ту-154М не только уложиться в современные нормы по эмиссии вредных веществ (и, тем самым, продлить период коммерческой эксплуатации на международных авиалиниях), но и сократить средний расход топлива на несколько процентов.

налет на одно воздушное судно $\eta$ составляет 1 500 летных часов. Тогда (при условии, что производство данного типа самолетов прекращено, и новых изделий в эксплуатацию не поступает) распределение парка по остатку ресурса останется равномерным. Однако каждый год доля неизрасходованного ресурса $\delta$ будет сокращаться на $\frac{\eta}{T^{\text{стар}}} = 5\ \%$.

Таким образом:

– через год в парке останется 950 самолетов, остаток ресурса которых будет равномерно распределен от 0 до 28 500 летный часов,

– …

– через 5 лет парке останется 750 самолетов, остаток ресурса которых будет равномерно распределен от 0 до 22 500 летный часов, и т.п.

На рис. 2.8 изображены полученные в данном примере графики зависимости суммарного спроса и выручки (в млрд долл., по вспомогательной оси ординат) от цены ремоторизации грузовых самолетов, если начать реализацию программы:

- немедленно,
- через год,
- через 5 лет.

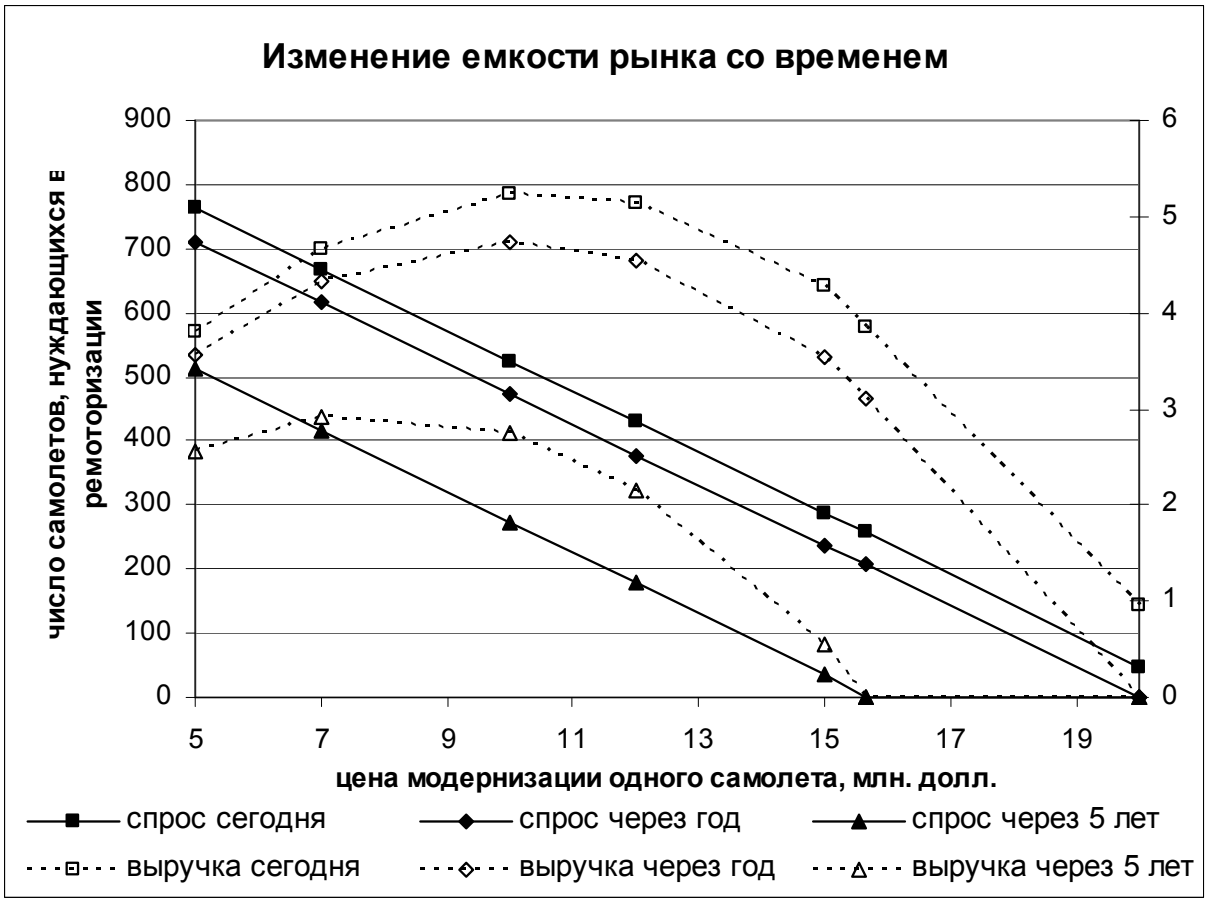


Рис. 2.8. Изменение емкости рынка ремоторизации со временем

Несмотря на то, что за 5 лет будет списано лишь 25 % воздушных судов из состава данного парка, максимально возможная выручка сократится приблизительно на 45 %. Т.е., стоимостная емкость рынка модернизации сокращается существенно быстрее, чем натуральная. Это легко объяснить, поскольку, помимо сокращения общей численности парка, со временем сокращается и остаток ресурса каждого изделия, что делает выполнение условия (2.28) все менее вероятным. Так, уже через 5 лет стоимость модернизации, равная 15,6 млн долларов, станет запретительной для всех самолетов в данном парке, хотя в данный момент она является приемлемой более чем для 250 самолетов.

Таким образом, рынок услуг и работ по модернизации авиатехники предъявляет чрезвычайно высокие требования к оперативности реагирования предприятий авиационной промышленности на динамично изменяющийся спрос. На этом рынке, как и на многих других рынках продукции авиастроения, большое значение приобретает фактор времени.

Аналогичные закономерности изменения емкости рынка со временем проявляются и на рынках *конвертации* пассажирских самолетов в грузовые, хотя, в отличие от вышеприведенной модели, в этом случае экономическая эффективность воздушных судов не повышается. Как правило, конвертируют изделия со сроком службы порядка 15–20 лет. Т.е. как правило, на рынок уже выходят пассажирские самолеты нового поколения, и далее использовать эти воздушные суда для регулярных пассажирских перевозок становится неэффективным. Специфика рынка грузовых авиаперевозок состоит в существенно большей доле чартерных перевозок, в сравнении с рынком пассажирских перевозок. Может возникать (например, сезонным образом) значительная пиковая потребность в провозных мощностях, однако продолжительность такой пиковой загрузки относительно невелика. Как правило, среднегодовой налет воздушного судна, используемого на чартерных рейсах, во много раз ниже, чем на регулярных. При этом относительная дешевизна владения изделиями старого поколения может компенсировать проигрыш в уровне операционных издержек. Рациональным становится содержание смешанного парка воздушных судов: дорогостоящие изделия нового поколения, обеспечивающие низкие операционные издержки, используются с максимальной интенсивностью, а конвертированные самолеты используются, в основном, только в периоды пикового спроса на грузоперевозки. Совместно с А.А. Молчановой разработаны модели оптимизации структуры смешанного парка грузовых авиакомпаний [106], позволяющие оценить емкость рынка конвертированных самолетов и ее изменения, например, в результате удорожания авиатоплива. Очевидно, что в этом случае проигрыш конвертированных воздушных судов изделиям нового поколения в уровне операционных затрат станет выше, и оптимальная доля конвертированных самолетов в парке сократит-

ся. При определенном пороговом уровне цены авиатоплива конвертированные изделия будут полностью вытеснены воздушными судами нового поколения. Подробнее влияние цен авиатоплива на процессы обновления парка авиатехники рассмотрено в следующем разделе.

## 2.3. Влияние цен авиатоплива на моральное устаревание и объемы продаж авиатехники

Несмотря на то, что, начиная с 1960-х гг., разработчикам гражданских самолетов удалось сократить средний расход топлива в расчете на пассажиро-километр почти вдвое (см. рис. 2.3 и табл. 2.1), удорожание нефти и производимого из нее авиатоплива происходило в 2000-х гг. прогрессирующими темпами, см. рис. 2.1. Поэтому даже в структуре затрат авиакомпаний, эксплуатирующих относительно современную и экономичную авиатехнику, наиболее существенными стали затраты на ГСМ. «Топливная» проблема заняла центральное место в исследованиях отраслевых экономистов в России и за рубежом. Так, например, в работе [27] оценены масштабы влияния цен авиатоплива на развитие рынков авиаперевозок и гражданской авиатехники в США. Изменчивость цены авиатоплива является важнейшим фактором риска для современной гражданской авиации. Однако рост цен энергоносителей является (наряду с ужесточением экологических стандартов, норм безопасности и требований к комфорту) одной из главных движущих сил совершенствования гражданской авиатехники, обновления парка гражданской авиации. Поэтому удорожание топлива оказывает неоднозначное, не обязательно негативное влияние на экономическое положение авиационной промышленности и ее инновационное развитие.

### *2.3.1. Связь динамики цен авиатоплива и морального устаревания гражданской авиатехники*

Как показано выше, на данном этапе достижение кардинального улучшения технико-экономических характеристик новых изделий все менее вероятно (как в гражданском авиастроении, так и в ряде других отраслей). На этом основании в ряде работ (см., например, [81]) сделан пессимистический вывод о том, что в обозримом будущем создание принципиально новых изделий, удовлетворяющих условию (2.29), практически невозможно, и авиакомпании будут стремиться эксплуатировать имеющуюся у них технику до полной выработки ресурса, лишь после этого приобретая новые, более экономичные изделия. Единственным побудительным мотивом для досрочного вывода изделий из эксплуатации при этом может быть лишь ужесточение различных экологических стандартов, норм безопасности полета, требований пассажиров к уровню комфорта, и т.п. Тем не менее, в условиях постоянного роста цен ресурсов, используемых при эксплуатации авиатехники – прежде всего, топлива (что показано на рис. 2.1) –

условие добровольного досрочного списания изделий прежних поколений может выполняться даже при относительно небольшом сокращении расхода топлива. Следовательно, принципиальная возможность создания качественно новых типов авиатехники сохраняется, несмотря на замедление темпов совершенствования изделий и их удорожание. При более высокой цене топлива даже относительно небольшое превосходство новых изделий может стать достаточным, чтобы вызвать ускоренное списание старой авиатехники и массовый спрос на новую. Насколько вероятно проявление такого эффекта?

Анализ влияния цен авиатоплива на динамику морального устаревания авиатехники проведен при участии А.А. Шкадовой и А.В. Ждановского [92]. В качестве примера, как и ранее, рассмотрим рынок пассажирских самолетов. Предположим, что цена авиатоплива растет со временем по закону $p_{\text{ГСМ}}(t)$, а параметры новых изделий, предлагаемых на рынке в году $t$, принимают следующие значения: средний удельный расход топлива – $g(t)$, затраты на ТОиР – $c_{\text{ТОиР}}(t)$, амортизационные расходы на летный час – $c_{\text{ам}}(t)$. Тогда в году $t$ операционные затраты (в расчете на летный час) изделий, выпущенных в году $\tau < t$, определяются следующей формулой:

$$c_{\text{опер}}(t,\tau) = c_{\text{ТОиР}}(\tau) + g(\tau)\cdot p_{\text{ГСМ}}(t). \qquad (2.36)$$

Полные эксплуатационные затраты (в расчете на летный час) новых изделий, выпускаемых в году $t$, определяются следующей формулой:

$$c^{\text{нов}}_{\text{час}}(t) = c_{\text{час}}(t,t) = c_{\text{ам}}(t) + c_{\text{ТОиР}}(t) + g(t)\cdot p_{\text{ГСМ}}(t). \qquad (2.37)$$

Сопоставляя эти величины, эксплуатирующая организация, согласно данной модели, принимает решение о продолжении эксплуатации изделий, выпущенных в году $\tau$, или об их немедленной замене на новые изделия. Если одновременно выполняются следующие неравенства:

$$\begin{cases} c^{\text{нов}}_{\text{час}}(t-1) > c_{\text{опер}}(t-1,\tau); \\ c^{\text{нов}}_{\text{час}}(t) < c_{\text{опер}}(t,\tau), \end{cases} \qquad (2.38,\ 2.39)$$

самолеты, выпущенные в году $\tau$, становятся морально устаревшими в году $t$, и даже если их ресурс не выработан до конца, авиакомпании будут стремиться заменить их на новые. Таким образом, срок морального устаревания самолетов, выпущенных в году $\tau$, составит $\Delta t(\tau) = t - \tau$. В то же время, эксплуатация авиатехники должна быть обязательно прекращена в момент полной выработки ресурса. Обозначим среднегодовой налет на одно воздушное судно $\mu$, летных часов в год. Если интенсивность эксплуатации воздушных судов в течение периода моделирования существенно не меняется, ресурс будет полностью выработан через $\dfrac{T}{\mu}$ лет, где $T$ – назначенный ресурс, и самолет будет списан. Таким образом, фактический срок службы определяется по следующему правилу:

$$\Delta t_{\text{факт}}(\tau) = \min\left\{ t - \tau; \frac{T}{\mu} \right\}. \qquad (2.40)$$

Если условия (2.38, 2.39) выполняются длительное время, может возникать режим *цепной смены поколений*, когда существующие изделия досрочно списываются и заменяются новыми, более экономичными, которые, в свою очередь, также будут досрочно списаны спустя несколько лет при появлении еще более экономичных изделий, и т.д. Поскольку при цепной смене поколений новые изделия, приобретенные для замены морально устаревших, сами, в свою очередь, морально устаревают спустя несколько лет и выводятся из эксплуатации до полной выработки ресурса, их фактический срок службы ниже ожидаемого в момент покупки. Не влияет ли это на корректность принимаемого решения о покупке изделий нового поколения? Ведь их приобретение и немедленный вывод из эксплуатации старых изделий целесообразны лишь при выполнении условий (2.3, 2.4):

$$c_{\text{ам}}^{\text{нов}} = \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} < c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}},$$

но ресурс новых изделий $T^{\text{нов}}$ не будет выработан полностью. На рис. 2.9 наглядно показано, что возможность досрочного списания изделий нового поколения не снижает заинтересованности авиакомпаний в их покупке при выполнении условий (2.38, 2.39).

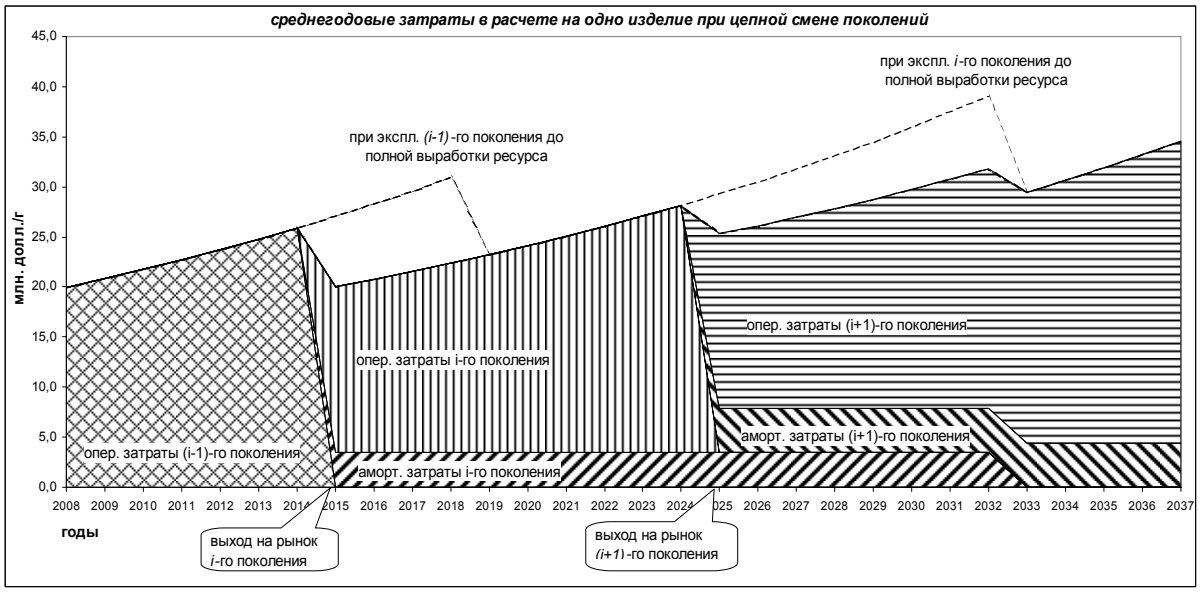


Рис. 2.9. Динамика эксплуатационных затрат при цепной смене поколений изделий

Когда $(i-1)$-е поколение изделий списывалось досрочно и заменялось на $i$-е, суммарные затраты на эксплуатацию изделий $i$-го поколения были ниже, чем операционные затраты при продолжении эксплуатации изделий $(i-1)$-го поколения:

$$c_{\text{час}}^{(i)}\left(t^{(i)}\right) < c_{\text{опер}}^{(i-1)}\left(t^{(i)}\right),$$

где $t^{(i)}$ – момент выхода на рынки изделий $i$-го поколения. В то же время, $i$-е поколение изделий будет списано досрочно, если суммарные затраты на эксплуатацию очередного $(i+1)$-го поколения будут ниже, чем операционные затраты при продолжении эксплуатации изделий $i$-го поколения:

$$c_{\text{час}}^{(i+1)}\left(t^{(i+1)}\right) < c_{\text{опер}}^{(i)}\left(t^{(i+1)}\right),$$

где $t^{(i+1)}$ – момент выхода на рынки изделий $i$-го поколения. Однако в период с момента $t^{(i)}$ до $t^{(i+1)}$ эксплуатация изделий $i$-го поколения была наиболее предпочтительной альтернативой, поскольку $c_{\text{час}}^{(i)}(t) < c_{\text{опер}}^{(i-1)}(t)$, при $t \in \left[t^{(i)}; t^{(i+1)}\right)$. Таким образом, даже перспектива неполной выработки ресурса изделий $i$-го поколения не снижает заинтересованности в их приобретении, когда эти изделия появляются на рынке.

Для иллюстрации применения описанной модели рассмотрим процесс морального устаревания среднемагистральных пассажирских самолетов семейства Boeing-737. В 1971 г. на рынке была представлена модификация 737-200 Advanced, в 1985 г. – модификация 737-300 Classic, а в 1998 г. – модификация 737-600 Next Generation (перечисленные модификации сопоставимы по пассажировместимости). Значения удельного расхода топлива на час крейсерского полета примем равными, соответственно, 3,3 т/л.ч., 2,6 т/л.ч. и 2,3 т/л.ч. Пусть часовые ставки амортизации двух последних модификаций составляют, соответственно, 660 долл./л.ч. и 1 000 долл./л.ч. Для упрощения расчетов пренебрежем сокращением трудоемкости и стоимости ТОиР при переходе к новым поколениям самолетов, т.е. рассматривается только изменение расходов на ГСМ. Согласно формулам (2.36-2.39), самолеты модификации 737-200 Advanced будут выведены из эксплуатации по экономическим соображениям, когда цена авиатоплива превысит следующий порог:

$$p'_{\text{ГСМ}} = \frac{660 \text{ долл./л.ч.}}{(3,3-2,6) \text{ т/л.ч.}} \approx 940 \text{ долл./т}.$$

Заметим, что цена авиатоплива как в России, так и за рубежом достигла этого уровня лишь сравнительно недавно (см. рис. 2.1).

Если назначенный ресурс самолетов Boeing-737 составляет (вне зависимости от модификации) около 50 000 летных часов, а производство модификации 737-200 Advanced было прекращено в 1984 г., при среднегодовом налете на уровне 3 000 л.ч./г. практически все самолеты данной модификации к началу 2000-х гг. уже должны быть списаны по причине выработки ресурса, что и наблюдается на самом деле. Тем не менее, немногие экземпляры модификации 737-200 Advanced, оставшиеся в ряде авиакомпаний мира (вероятно, по причине менее интенсивной эксплуатации) действительно были выведены из эксплуатации в последние годы, когда цена авиатоплива вплотную подошла к отметке 1 000 долл./т.

Если производство самолетов Boeing-737 Classic прекратилось в 1998 г. (с началом выпуска модификаций Next Generation), последние выпущенные изделия поколения Classic выработают свой ресурс приблизительно к 2015 г. В то же время, согласно предлагаемому критерию, самолеты модификации 737-300 Classic могут быть выведены из эксплуатации и полностью заменены более современными изделиями 737-600 Next Generation по экономическим соображениям, когда цена авиатоплива превысит следующий уровень:

$$p''_{\text{ГСМ}} = \frac{1000 \text{ долл./л.ч.}}{(2,6 - 2,3) \text{ т/л.ч.}} = 3330 \text{ долл./т}.$$

Если до 2015 г. цена авиатоплива не достигнет столь высокого уровня, самолеты Boeing-737 Classic будут выведены из эксплуатации по причине физического, а не морального старения.

Что касается ныне выпускаемых самолетов Boeing-737 Next Generation, их досрочное списание по экономическим соображениям возможно лишь при появлении принципиально новых изделий, обладающих существенно более низким удельным расходом топлива. На рис. 2.10 изображены верхние границы значений удельного расхода топлива самолетов нового типа, при которых выполняется условие (2.3). Рассмотрены следующие случаи:

- воздушные суда нового типа не подорожали по сравнению с Boeing-737 Next Generation;
- сокращение удельного расхода топлива повлекло за собой удорожание самолетов нового типа на 20 %;
- на 50 %.

Горизонтальная штриховая линия соответствует параметрам самолетов Boeing-737 Next Generation, которые и должны быть превзойдены изделиями нового типа.

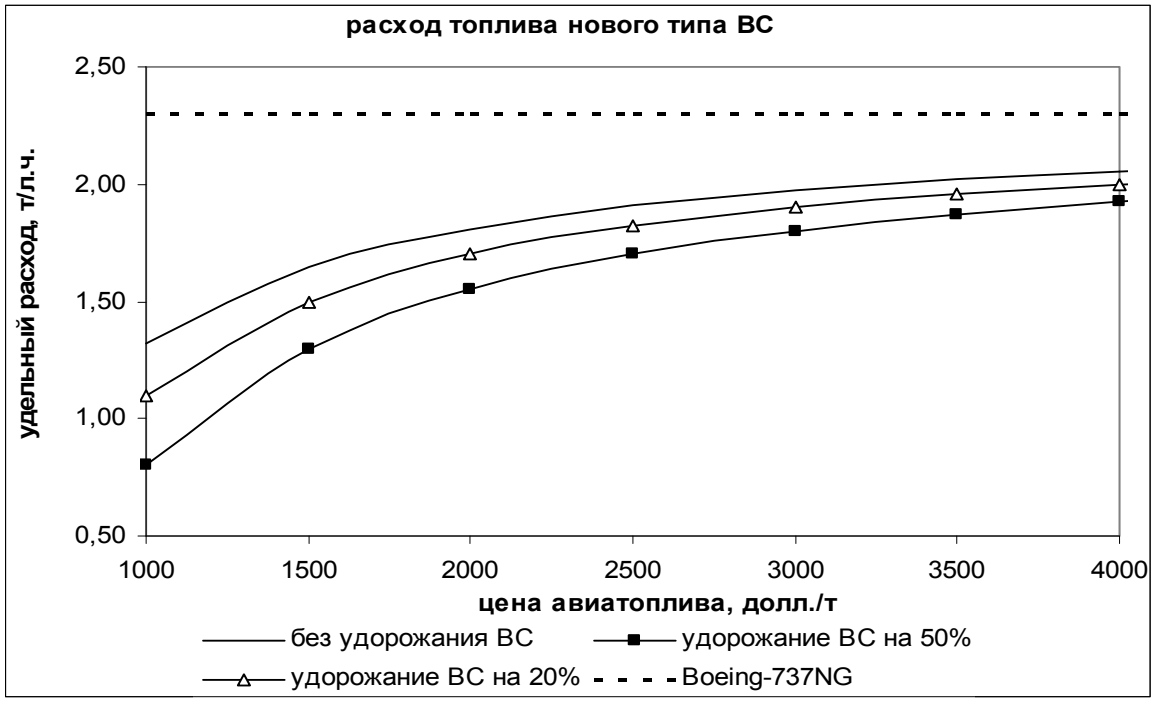


Рис. 2.10. Максимальные значения удельного расхода топлива самолетов нового типа, при которых морально устареют самолеты Boeing-737 Next Generation

В обозримом будущем маловероятно достижение столь высокого уровня цены авиатоплива либо столь значительного сокращения удельного расхода топлива, как показано на рис. 2.10. Следовательно, и самолеты модификаций Next Generation, вероятнее всего, быстрее устареют физически, чем морально.

При каких условиях моральное старение техники будет опережать физическое, и изделия, не выработавшие до конца свой ресурс, будут списываться досрочно? Срок морального устаревания изделий будет сокращаться со временем, если амортизационные затраты новых изделий $c_{\text{ам}}(t)$ возрастают медленнее, чем сокращение операционных затрат при замене изделий на более экономичные $\left[c_{\text{опер}}(t,\tau) - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}(t)\right]$. Как правило, указанное условие выполнимо на среднем участке *S*-образной кривой. На ее завершающем участке условия (2.38, 2.39) также могут выполняться, пока значение амортизационных затрат новых изделий не превысит сокращение затрат на ГСМ. Но при этом срок морального устаревания изделий возрастает, пока не превысит срок полной выработки ресурса.

Прогнозы сроков морального устаревания изделий необходимы для определения экономически обоснованного уровня ресурса. Как известно, во многих случаях повышение ресурса конструкций сопряжено с опережающим ростом их стоимости [18, 35]. Возрастают как переменные затраты (поскольку приходится увеличивать размеры и вес изделий, применять более прочные и дорогие материалы), так и постоянные издержки авиастроительных компаний (поскольку повышение ресурса требует зна-

чительного объема НИОКР, испытаний, и т.п.). Если перспективное изделие, вероятнее всего, морально устареет до полной выработки ресурса, можно избежать неоправданных затрат на его повышение. Напротив, если моральное устаревание изделий в обозримом будущем маловероятно, целесообразно увеличение их ресурса. В реальности вряд ли возможно получить точный прогноз сроков морального устаревания машин, поскольку многие факторы, использованные в модели (2.36-2.39), плохо поддаются прогнозированию. Развитие технологий идет неравномерно, а динамика цен энергоресурсов практически непредсказуема[1]. Поэтому расчеты по модели (2.36–2.39) необходимо проводить для различных сценариев изменения цен и развития технологий. Для снижения рисков, связанных с неопределенностью темпов морального устаревания, целесообразно закладывать в конструкцию перспективных изделий возможности глубокой модернизации.

### *2.3.2. Влияние удорожания авиатоплива на объемы продаж гражданской авиатехники*

Влияние роста цены авиатоплива на экономическое положение авиационной промышленности отнюдь не однозначно. С одной стороны, рост затрат на авиатопливо безусловно негативно отражается на издержках гражданской авиации, заставляет авиакомпании повышать тарифы. В период бурного удорожания авиатоплива в 2002–2008 гг. даже наиболее успешным зарубежным перевозчикам приходилось вводить дополнительно к тарифам т.н. *топливные сборы*, призванные компенсировать быстрые изменения топливных затрат, которые не всегда можно компенсировать оперативной корректировкой тарифов. Это вызывает спад спроса на перевозки, и, в соответствии с простейшей моделью БПМ (см. главу 2), резко сокращает потребность в закупке новых воздушных судов. Но с другой стороны, по мере удорожания авиатоплива, становится более значимой экономия операционных затрат за счет меньшего расхода топлива, характерного для новых типов самолетов. В результате повышается вероятность выполнения условия (2.3):

$$c_{\text{ам}}^{\text{нов}} < c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}.$$

где $c_{\text{опер}}^{\text{стар}}$, $c_{\text{опер}}^{\text{нов}}$ – операционные затраты в расчете на пассажиро-километр, соответственно, для самолетов старого и нового поколений;

$c_{\text{ам}}^{\text{нов}}$ – ставка амортизации или лизинговая ставка самолетов нового поколения.

---

[1] Здесь предполагается, что цена авиатоплива со временем только возрастает. В случае открытия новых источников энергоресурсов, приводящего к их существенному удешевлению, более экономичные воздушные суда будут эксплуатироваться до полной выработки ресурса, поскольку их досрочное списание заведомо не приведет к снижению эксплуатационных затрат. Однако для их замены будут приобретаться более дешевые изделия с большим расходом топлива, обеспечивающие меньший уровень эксплуатационных затрат согласно уравнениям (2.1, 2.2).

В этом случае, как показано в п. 2.1, авиакомпании, теоретически, будут заинтересованы в немедленной замене всех ныне эксплуатируемых самолетов, даже имеющих значительный остаток ресурса, на изделия нового поколения. В терминах модели БПМ (1.9–1.17), будет выполняться следующее равенство:

$$q^{\text{необх}}(t) = N_{\text{потреб}}(t+1),$$

и выпуск авиастроительных компаний будет ограничиваться лишь уровнем их мощностей $V$:

$$q^{\text{постав}}(t) \le V(t).$$

Фактически, выполнение условия (2.3) может обеспечить полную загрузку мощностей гражданского авиастроения вне зависимости от динамики изменения пассажирооборота. Можно утверждать, что похожая ситуация имеет место в настоящее время. Ведущие производители магистральных гражданских самолетов – компании “Boeing” и “Airbus Industry” – загружены заказами на воздушные суда нового поколения на несколько лет вперед.

Какой результат удорожания авиатоплива существеннее – снижение суммарной потребности в авиатехнике или ускоренная замена старых изделий? Определить, когда удорожание авиатоплива положительно либо отрицательно скажется на положении гражданского авиастроения, можно с помощью следующей простой модели, разработанной совместно с С.А. Гривским [44]. Разделим операционные затраты, приведенные к пассажиро-километру, на топливные и прочие, поскольку они при удорожании авиатоплива не изменяются:

$$c_{\text{опер}} = g \cdot p_{\text{ГСМ}} + c_{\text{пр}}, \qquad (2.41)$$

где $c_{\text{опер}}$ – операционные издержки в расчете на пассажиро-километр;

$g$ – удельный расход топлива на пассажиро-километр;

$p_{\text{ГСМ}}$ - цена авиатоплива;

$c_{\text{пр}}$ – прочие (нетопливные) составляющие операционных затрат (на ТОиР, на оплату труда экипажа и др.).

Как правило, изделия нового поколения экономичнее старых: $g^{\text{нов}} < g^{\text{стар}}$, т.е. выигрыш новых изделий в части удельного расхода топлива положителен: $\Delta g = g^{\text{ст}} - g^{\text{нов}} > 0$. Однако, как видно из условия (2.3), это превосходство стимулирует ускоренную замену старых изделий новыми лишь при цене авиатоплива не ниже определенного порога $p_{\text{ГСМ}}^{\text{порог}}$:

$$p_{\text{ГСМ}} > p_{\text{ГСМ}}^{\text{порог}} = \frac{c_{\text{ам}}^{\text{нов}} - \Delta c_{\text{пр}}}{\Delta g}, \qquad (2.42)$$

где $\Delta c_{\text{пр}} = c_{\text{пр}}^{\text{стар}} - c_{\text{пр}}^{\text{нов}}$ – выигрыш новых изделий в части прочих (нетопливных) затрат[1].

В противном случае, досрочная замена еще исправной, хотя и менее экономичной авиатехники экономически нецелесообразна.

Эта модель позволяет выявить принципиальную возможность благотворного воздействия топливного кризиса на продажи новой авиатехники. Если до подорожания авиатоплива его цена не превышала пороговый уровень: $p_{\text{ГСМ}} < p_{\text{ГСМ}}^{\text{порог}}$, превосходство новой авиатехники над старой не было достаточным, чтобы изделия старого поколения устарели. Поэтому новые изделия приобретались лишь для замены старых, исчерпавших свой ресурс, или для наращивания провозных мощностей. Однако после подорожания цена авиатоплива может превзойти пороговое значение: $p'_{\text{ГСМ}} > p_{\text{ГСМ}}^{\text{порог}}$, и всю старую авиатехнику станет выгодно досрочно заменить новой, более экономичной.

Построим упрощенную модель изменения спроса на новую авиатехнику при подорожании авиатоплива. Предположим, что авиакомпаниям известен закон спроса на перевозки в будущем периоде. Он может быть задан в виде прямой функции спроса $d = f(p)$ или обратной функции спроса $p = f(d)$, где $d$ – объем спроса на перевозки, $p$ – тариф. Также известно, что к будущему периоду, с учетом списания, в парке останется $N^{\text{стар}}$ изделий старого поколения и $N^{\text{нов}}$ изделий нового поколения. Если производительность одного самолета[2] обозначить $w$, пассажиро-километров в год, тогда мощность парка самолетов нового типа $W^{\text{нов}}$ и суммарная мощность парка с учетом старых изделий $W^{\Sigma}$ определяются следующим образом:

$$W^{\text{нов}} = w \cdot N^{\text{нов}}; \tag{2.43}$$

$$W^{\Sigma} = w\left(N^{\text{нов}} + N^{\text{стар}}\right). \tag{2.44}$$

Авиатехнику выгодно эксплуатировать, если тариф превышает удельные операционные затраты: $p > c_{\text{опер}}$. Важно подчеркнуть, что тариф даже может не покрывать полных затрат на пассажиро-километр, включающих в себя также стоимость приобретения изделий. Однако они уже приобретены в собственность или взяты в лизинг в текущем периоде, и если их эксплуатация покроет хотя бы переменные издержки, это позволит авиакомпаниям минимизировать убытки.

---

[1] Строго говоря, он может быть и отрицательным, поскольку ТОиР более сложной и дорогой техники может быть дороже.

[2] Здесь производительность старых и новых изделий для простоты считается одинаковой, но при необходимости модели можно легко модифицировать с учетом изменения производительности.

Если рынок авиаперевозок является конкурентным[1], для него можно построить кривую предложения, которая, как следует из проведенного выше анализа, имеет следующий вид, см. рис. 2.11 (кривая предложения показана жирной ломаной линией).

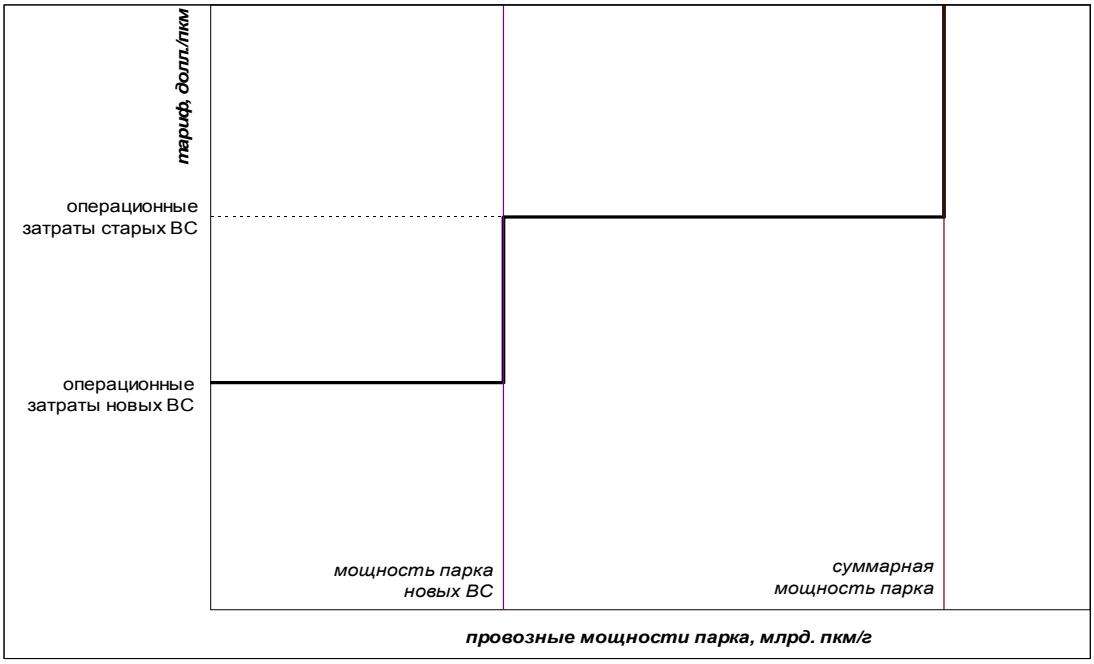


Рис. 2.11. Кривая предложения авиаперевозок при наличии смешанного парка авиатехники

Поскольку операционные затраты самолетов нового поколения ниже, они используются в приоритетном порядке, и если мощности парка новой авиатехники достаточно для удовлетворения спроса на перевозки (т.е. $d(p) \le W^{\text{нов}}$), тогда изделия старого поколения вообще не используются. Они вводятся в эксплуатацию только тогда, когда тариф покроет соответствующие эксплуатационные затраты, и мощности парка новых изделий будет недостаточно для полного удовлетворения спроса: $p \ge c_{\text{опер}}^{\text{нов}}$; $d(p) > W^{\text{нов}}$. В этом случае владельцы более экономичных воздушных судов получают, по сравнению с владельцами изделий старого поколения, дополнительную прибыль в размере $\left(c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}\right)$ на 1 пасс.-км, называемую *дифференциальной рентой*[2]. Характерный пример – ситуация с основным современным дальнемагистральным авиалайнером российского производства Ил-96-300. Крупнейший эксплуатант воздушных судов данного типа – авиакомпания «Аэрофлот» – на протяжении ряда лет сетует на высокие эксплуатационные затраты Ил-96, по сравнению с зарубежными

[1] Несмотря на наличие в России почти 200 коммерческих авиакомпаний [37, 185], российский рынок авиаперевозок в принципе нельзя считать конкурентным, что подтверждается и значительным превышением тарифов над себестоимостью перевозок. Причина состоит в особенностях этого географически распределенного рынка: на каждом направлении может сложиться *локальная монополия* местной авиакомпании.

[2] Это понятие ввел одни из основателей классической школы экономической мысли Д. Рикардо [147].

дальнемагистральными самолетами Boeing-767 и др. [141]. Разумеется, корректность методики сравнения Ил-96 с зарубежными аналогами нуждается в дополнительном обосновании, но даже если принять официальную точку зрения аналитиков авиакомпании, представляется, на первый взгляд, парадоксальным следующий факт. Несмотря на декларации о неэффективности Ил-96, авиакомпания не вывела самолеты данного типа из эксплуатации (как следовало бы ожидать), а, наоборот, эксплуатирует их с высокой интенсивностью (4 000–5 000 летных часов в год – показатель, характерный для наиболее эффективных зарубежных авиакомпаний, использующих самолеты ведущих мировых производителей). Причина видится в том, что при нынешних значениях тарифов и цен на используемые ресурсы, эксплуатация Ил-96 все равно остается выгодной, хотя, разумеется, эксплуатация более эффективных воздушных судов приносит б**о**льшую прибыль.

При удорожании авиатоплива, возрастают соответствующие затраты как для новых, так и для старых изделий, но для новых – в меньшей степени, поскольку они, как правило, экономичнее. И преимущество нового поколения может стать достаточным для выполнения условия (2.3), что стимулирует ускоренную замену всех старых самолетов на новые, см. рис. 2.12. Кривая спроса на авиаперевозки изображена жирной серой линией с отрицательным наклоном. Положение кривой предложения после подорожания авиатоплива обозначено жирной штриховой линией. В данном примере использованы следующие исходные данные: $w$ = 200 млн пасс.-км./г на один самолет; $N^{\text{стар}}$ = 300 самолетов; $N^{\text{нов}}$ = 200 самолетов; $c_{\text{пр}}^{\text{нов}} = c_{\text{пр}}^{\text{стар}}$ = 0,01 долл./пасс.-км; $c_{\text{ам}}^{\text{нов}}$ = 0,01 долл./пасс.-км; $g^{\text{стар}}$ = 35 г/пасс.-км; $g^{\text{нов}}$ = 20 г/пасс.-км; $p_{\text{ГСМ}}$ = 300 долл./т; $p'_{\text{ГСМ}}$ = 800 долл./т. Такие исходные данные вполне реалистичны: значения производительности воздушных судов, показатели удельного расхода топлива и прочих составляющих эксплуатационных затрат приблизительно соответствуют среднемагистральным узкофюзеляжным самолетам типа Ту-154 (изделия старого поколения) и А-320 (изделия нового поколения), см. табл. 2.1. Функция спроса на авиаперевозки в данном иллюстративном примере выбрана в классе степенн**ы**х функций:

$$d = 8{,}5\,p^{-0{,}7},$$

где $d$ – спрос на перевозки, млрд пасс.-км./г;

$p$ – средний километровый тариф, долл./пасс.-км.

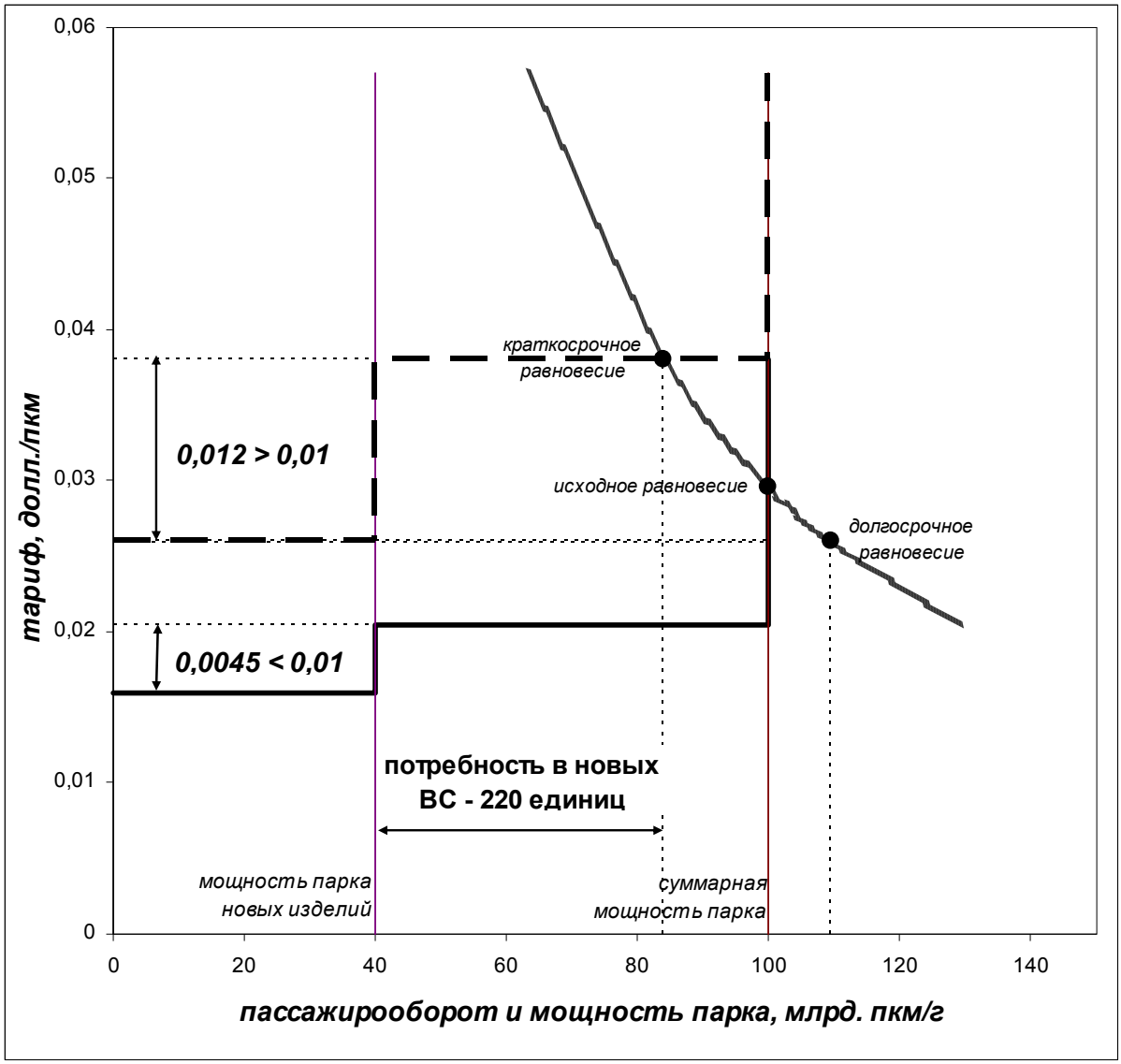


Рис. 2.12 Сдвиг равновесия на рынке авиаперевозок при подорожании авиатоплива (благоприятный случай)

Степенная функция спроса обладает постоянной *ценовой эластичностью.* Ценовая эластичность (подробнее см. [147]) показывает, на сколько процентов изменится спрос, если цена возрастет на 1 %. Для степенных функций ценовая эластичность равна показателю степени, в которую возводится цена. В реальности ценовая эластичность спроса, разумеется, непостоянна. В условиях, когда воздушный транспорт не имеет альтернатив, спрос, вероятно, будет *неэластичным*, т.е. при повышении тарифа на 1 % спрос упадет менее, чем на 1 %. Однако по мере приближения к некоторой *запретительной цене*, при которой ни один потребитель уже не сможет позволить себе пользоваться услугами гражданской авиации, эластичность спроса повысится. В книге [100] приведены значения ценовой эластичности спроса на авиаперевозки, полученные путем статистических наблюдений в различных условиях. Социально-экономические факторы, определяющие реальный вид функции спроса на авиаперевозки, подробно обсуж-

даются в главе 5. Здесь степенная функция выбрана исключительно для простоты расчетов (тем более, что через точку рыночного равновесия может проходить бесконечно много различных кривых спроса). В данном примере спрос на перевозки считается неэластичным: при повышении тарифа на 1 %, спрос упадет лишь на 0,7 %, т.е. менее, чем на 1 %. Параметры функции спроса выбраны из условия калибровки значений равновесных тарифа и пассажирооборота по фактическим данным российского рынка авиаперевозок, на котором в 2007 г. пассажирооборот составил около 100 млрд пасс.-км./г.

Из рис 2.12 видно, что, хотя в краткосрочном равновесии, установившемся после подорожания авиатоплива, тарифы достаточно высоки, чтобы оправдать эксплуатацию самолетов старого поколения, но выигрыш новых изделий в уровне операционных затрат (0,012 долл./пасс.-км) уже превысил порог, определяемый условием (2.42) (0,01 долл./пасс.-км). Цена авиатоплива, соответственно, превысила пороговый уровень, который в данном примере равен $p_{\text{ГСМ}}^{\text{порог}} = \dfrac{c_{\text{ам}}^{\text{нов}} - \Delta c_{\text{пр}}}{\Delta g} = \dfrac{0{,}01 \text{ долл./пасс.-км.} - 0}{15 \text{ г/пасс.-км.}} \approx 670 \text{ долл./т}$. Теперь, в отличие от исходного состояния, владельцы авиатехники старого поколения заинтересованы в её немедленной замене на новую. И хотя потребный уровень провозных мощностей, в сравнении с исходным, даже сократился (420 воздушных судов против 500), имеющийся парк изделий нового поколения насчитывает лишь 200 единиц, поэтому появилась значительная потребность в закупке новой авиатехники в объеме 220 самолетов[1]. Фактически, такая ситуация и сложилась на российском рынке после того, как цены авиатоплива приблизились к 1 000 долл./т. Таким образом, топливный кризис может стимулировать ускоренное обновление парка авиатехники, и спрос на продукцию авиастроения не упадет, а даже увеличится. Более того, возможно, что в стратегической перспективе в выигрыше окажутся и авиапассажиры – несмотря на удорожание авиатоплива! Именно такая ситуация изображена на рис. 2.12. По мере замены старых самолетов новыми, возникнет возможность удовлетворения всего объема спроса на авиаперевозки с относительно низкими издержками, и долгосрочное равновесие установится при более низких тарифах, чем исходное равновесие (в данном примере – 0,026 долл./пасс.-км. против 0,03 долл./пасс.-км.). При таком уровне тарифов появляется возможность в перспективе довести численность парка до 550 самолетов, даже если спрос на авиаперевозки не возрастет.

Описанный процесс замены старых технологий более эффективными (в т.ч. в результате кризисов) известный исследователь инновационного

[1] В отличие от простейшей модели БПМ, рассмотренной в п. 1.3, здесь не учитывается выбытие самолетов нового типа и соответствующее слагаемое спроса на новые самолеты – считается, что весь новый парк еще далек от полной выработки ресурса. Однако в реальности происходит и выбытие новой авиатехники.

экономического развития Й. Шумпетер назвал «созидательным разрушением». Возникает естественный вопрос: до каких пределов «разрушение может быть созидательным», т.е. воздействие топливного кризиса на продажи авиатехники останется позитивным? Очевидно, что хотя оно и может быть благотворным, но далеко не всегда будет таковым. В приведенном примере показана лишь принципиальная возможность. Необходимо оценить, насколько вероятно столь благоприятное сочетание условий. Прежде всего, вышеописанный эффект возможен именно во время удорожания авиатоплива, а спады спроса на авиаперевозки (подобные тем, что произошли после распада СССР или в странах Запада в 2001 г.), в ходе которых кривая спроса на перевозки смещается вниз, в принципе не могут стимулировать закупку новой авиатехники[1]. Однако и топливный кризис далеко не всегда приведет к повышению спроса на продукцию авиастроения. Повышение издержек эксплуатирующих организаций отрицательно сказывается на их платежеспособности и финансовых возможностях закупать новую авиатехнику. Тарифы возрастают, пассажирооборот и объем перевозок уменьшаются, и может оказаться, что для эффективного удовлетворения сократившегося спроса вполне достаточно уже приобретенных изделий нового поколения, см. рис. 2.13. В данном примере, в отличие от предыдущего, цена авиатоплива возросла не до 800, а до 2 500 долл./т (все остальные исходные данные – без изменений). В результате операционные затраты самолетов старого типа составят почти 0,1 долл./пасс.-км. При таком уровне тарифов спрос на перевозки упадет столь сильно, что для его удовлетворения будет достаточно приобрести лишь 17 новых самолетов в дополнение к имеющимся 200. Тогда все имеющиеся в наличии изделия старого поколения можно вывести из эксплуатации, и тариф на конкурентном рынке упадет до уровня операционных затрат самолетов нового типа, которые теперь составят 0,06 долл./пасс.-км. Если в долгосрочной перспективе спрос на перевозки не изменится, при таком уровне тарифов будет достаточно довести численность парка до 305 изделий нового поколения. Такие объемы закупок новой авиатехники во много раз ниже полученных в предыдущем примере.

[1] В то же время, сокращение спроса в традиционных сегментах рынка – особенно принимающее затяжной характер – может стимулировать поиск принципиально новых рыночных ниш, о чем подробно будет сказано в заключительных главах этой книги.

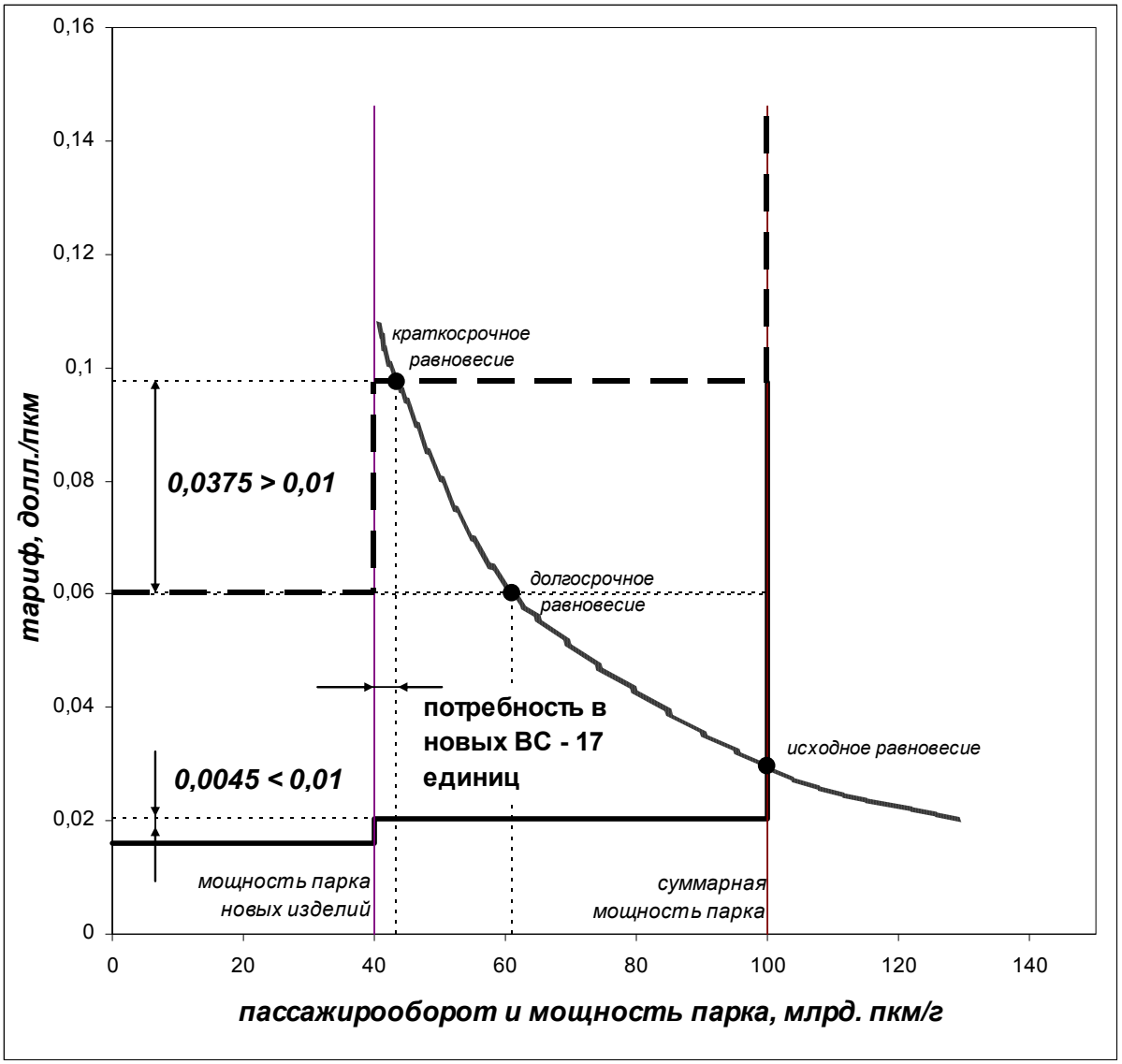


Рис. 2.13. Пример неблагоприятного воздействия удорожания авиатоплива на положение авиационной промышленности

Сравнивая рис. 2.12 и 2.13, можно видеть, что наиболее благоприятным, с точки зрения повышения спроса на авиатехнику нового поколения, является следующее сочетание условий. Во-первых, на момент подорожания авиатоплива в парке должно оставаться большое количество изделий старого поколения, которые и подлежат ускоренной замене на новые. Можно утверждать, что описанное положение дел характерно для современной России, ряда других республик бывшего СССР, а также развивающихся стран, в т.ч. тех, в которых раньше массово эксплуатировалась авиатехника советского производства. Во-вторых, спрос на авиаперевозки должен быть малоэластичным по цене и/или повышение цены авиатоплива не должно быть слишком значительным. Тогда при подъеме кривой предложения и соответствующем повышении тарифов, пассажирооборот и объем перевозок сократятся несущественно, и потребуется именно замена большей

части парка изделий старого поколения новыми, а не просто их вывод из эксплуатации. Возможно, спрос на перевозки даже продолжит увеличиваться, несмотря на рост тарифов – благодаря опережающему повышению доходов потенциальных пассажиров[1]. При таком сочетании условий прирост спроса на изделия нового поколения будет наиболее значительным.

**Выводы по главе 2**

1. Изделие можно морально устаревшим с экономической точки зрения, если его целесообразно списать и заменить изделием нового типа, несмотря на наличие остатка ресурса. Показано, что для этого разница текущих эксплуатационных затрат старого и нового изделий должна превышать ставку амортизации нового изделия.

2. В силу исчерпания возможностей развития современных технологий в области гражданского авиастроения, достижение кардинального превосходства новых изделий над старыми практически невозможно (как для российских, так и для зарубежных компаний) на базе имеющегося научного задела. Для осуществления радикальных инноваций требуется активизация НИР в сфере авиастроительных технологий.

3. Рынок работ и услуг по модернизации авиатехники может стать одним из существенных источников выручки и прибыли российских авиастроительных и авиаремонтных предприятий, снижая риск потерь в периоды сокращения спроса на новую авиатехнику.

4. Существуют определенные пороговые значения

- остатка ресурса изделия,
- требуемых затрат на его модернизацию,
- сокращения эксплуатационных затрат в результате модернизации,

при которых модернизация авиатехники еще может быть экономически эффективной. Эти пороговые значения взаимосвязаны: чем выше затраты на модернизацию, тем выше должен быть ожидаемый выигрыш в эксплуатационных затратах и минимальный остаток ресурса модернизируемых изделий.

5. Модернизационный потенциал определенного типа изделий определяется распределением парка изделий по остатку ресурса. По мере выработки ресурса парка изделий, емкость рынка работ и услуг по их модернизации сокращается в стоимостном выражении быстрее, чем в натуральном.

[1] Социально-экономические факторы, определяющие спрос на авиаперевозки, будут подробнее обсуждаться в главе 5.

6. Несмотря на исчерпание возможностей совершенствования современных технологий, даже малое преимущество новых изделий перед изделиями, эксплуатируемыми в настоящее время, может вызвать моральное устаревание последних, в силу удорожания топлива. В условиях устойчивого продолжительного роста цены энергоресурсов, может наблюдаться процесс цепной смены поколений техники, характеризующийся ускоренным списанием изделий при последовательном появлении на рынке все более экономичных аналогов.

7. Удорожание авиатоплива, однозначно отрицательно сказываясь на положении авиакомпаний, может, тем не менее, привести к значительному росту объемов продаж новой авиатехники при следующих условиях:

- цена авиатоплива должна превысить определенный порог, при котором становится выгодно списать старый парк до полной выработки ресурса и заменить его изделиями нового поколения;
- в парках авиакомпаний должно эксплуатироваться большое количество изделий старого типа, подлежащих ускоренной замене на новые;
- удорожание авиатоплива не должно вызывать значительного спада спроса на авиаперевозки до уровня, при котором достаточно провозных мощностей имеющегося парка изделий нового типа.

# ГЛАВА 3. ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАТЕХНИКИ

## 3.1. Роль экологических норм на рынках гражданской авиатехники

### *3.1.1. Нормирование и совершенствование экологических характеристик гражданской авиатехники*

В условиях сокращения запасов ископаемого топлива, а также возрастающей техногенной нагрузки на окружающую среду, соображения экономии энергии и защиты окружающей среды становятся важнейшими движущими силами обновления основных фондов во многих отраслях, в том числе, в гражданской авиации. Основными факторами воздействия современных дозвуковых воздушных судов на человека и окружающую среду считаются шум на местности и эмиссия вредных веществ. Можно заметить, что эти факторы связаны, прежде всего, с силовой установкой летательного аппарата, и в гораздо меньшей степени – с другими его подсистемами. При появлении и активном использовании сверхзвуковых пассажирских самолетов нового поколения[1] на первый план может выйти проблема звукового удара, основным источником которого является уже не силовая установка, а планер летательного аппарата. Но на данный момент, фактически, экологические ограничения касаются именно авиадвигателей, поэтому экологические проблемы затрагивают двигателестроение в большей степени, чем другие подотрасли авиационной промышленности. В то же время, следует подчеркнуть, что уровень шума определяется не только типом авиадвигателей, но и типом летательного аппарата, на котором эти двигатели установлены, по следующей причине. Самолеты с большей взлетной массой оснащаются двигателями с большей тягой и, как правило, более шумными. Поэтому сертификации по шуму на местности подлежит именно летательный аппарат в целом, обладающий определенной взлетной массой, с установленными на нем авиадвигателями определенного типа. Разумеется, улучшение экологических характеристик летательного аппарата и воздушного транспорта в целом должно опираться не только на технологии совершенствования авиадвигателей, но и учитывать условия компоновки этих двигателей на существующих или перспективных летательных аппаратах, а также возможность применения специальных приемов пилотирования, нацеленных на снижение уровня шума на местности, изменения маршрутных сетей, нацеленного на экономию топлива и снижение вредных выбросов и т.д.

В настоящее время допустимые уровни шума на местности и эмиссии вредных веществ регламентируются, прежде всего, Приложением 16 к международной конвенции о гражданской авиации. Том 1 посвящен нор-

[1] К первому поколению сверхзвуковых пассажирских самолетов относятся советский Ту-144 и англо-французский «Конкорд».

мам по шуму на местности, а том 2 – нормам эмиссии вредных веществ. В РФ и странах СНГ действуют гармонизированные с международными положениями Авиационные правила АП-34 и АП-36, регламентирующие, соответственно, уровни эмиссии и шума. Допустимые уровни шума на местности (см., например, [52, 132]) постепенно ужесточаются. В 1972 г. вступила в действие Глава 2 тома 1 Приложения 16 стандарта ИКАО, с 1977 г. – Глава 3, согласно которой суммарный уровень шума в трех контрольных точках надлежало снизить на 20 EPN дБ по сравнению с уровнем, определяемым требованиями Главы 2. С 01.01.2006 г. все вновь сертифицируемые самолеты должны удовлетворять требованиям Главы 4 тома 1, предусматривающей снижение суммарного уровня шума в трех контрольных точках еще на 10 EPN дБ. Нормы ИКАО по эмиссии вредных веществ (см., например, [131]), впервые введенные в действие в 1981 г., также периодически пересматриваются в сторону ужесточения. Так, в 1996 г. на 20 % ужесточены требования по выбросам оксидов азота, а в 2004 г. допустимый уровень этого показателя был сокращен еще на 16 %, и т.д. Следует подчеркнуть, что это именно сертификационные правила, не имеющие обратной силы, т.е., эксплуатация авиатехники предыдущих поколений, сертифицированных по прежним стандартам, непосредственно не запрещается. Несмотря на это, ряд стран Евросоюза в инициативном порядке запрещает полеты над своей территорией и ранее выпущенным воздушным судам, которые формально не обязаны соответствовать новым стандартам ИКАО, см. [132].

Показатели экологического совершенства ныне эксплуатируемых, выпускаемых и вновь создаваемых в России воздушных судов приводятся во множестве источников – см., например, [32, 52, 131, 132]. Большинство отечественных воздушных судов и авиадвигателей старых поколений (Ил-86 и НК-86, Ту-134 и Д-30, Ил-76 и Д-30КП, и т.д.) соответствуют лишь нормам Главы 2 по шуму на местности и нормам 1976 г. по выбросам вредных веществ. При этом модернизация перечисленных авиадвигателей нецелесообразна по экономическим соображениям (подробнее см. главу 2). В ряде случаев – например, для Ил-76 – выход видится в массовой ремоторизации парка, т.е., в переоборудовании самолетов более современными авиадвигателями (соответствующая модель приведена в п. 2.2). Некоторые воздушные суда и авиадвигатели 3-го поколения удовлетворяют более современным требованиям. Например, один из основных типов самолетов российских авиакомпаний, Ту-154М, оснащенный авиадвигателями Д-30КУ-154, удовлетворяет требованиям Главы 3 по шуму на местности с минимальным запасом (0,1..1,6 EPN дБ), а самолет Як-42 с двигателями Д-36 даже укладывается в эти требования с запасом 5 EPN дБ. В ряде случаев соответствие современным экологическим стандартам может обеспечиваться путем доработки ранее выпущенных самолетов и авиадвигателей

в процессе капитального ремонта. Так, например, по данным производителей (см. [103]), установка звукопоглощающих конструкций (ЗПК) на авиадвигатели Д-30КУ-154 позволяет повысить запас относительно требований Главы 3 по шуму на местности до 5 EPN дБ. Для этого же типа двигателей НПО “Сатурн” разработана (совместно с ЦИАМ им. Баранова) и серийно выпускается малоэмиссионная камера сгорания, позволяющая удовлетворить требованиям норм 2004 г. по эмиссии вредных веществ, и даже несколько уменьшить расход топлива. При этом характерный порядок затрат на оснащение одного воздушного судна комплектом ЗПК составляет 300...500 тысяч долларов, что является для многих российских перевозчиков более чем приемлемой платой за возможность продолжения полетов по международным авиалиниям на имеющемся парке воздушных судов[1]. По данным источника [132], доля самолетов отечественного производства, доработанных до уровня требований Главы 3 путем установки ЗПК, составляет 18 %.

Основной тип современных российских авиадвигателей гражданского назначения – ПС-90А, которым оснащаются магистральные пассажирские самолеты семейств Ту-204/214 и Ил-96, в базовой модификации обеспечивает этим воздушным судам лишь соответствие требованиям Главы 3 по шуму на местности и нормам 1996 г. по эмиссии вредных веществ. В настоящее время завершается создание модификации ПС-90А2, которая, как ожидается, позволит самолетам Ил-96 и Ту-204/214 со значительными запасами уложиться, соответственно, в требования Главы 4 и нормы 2004 г. Что касается ремоторизованного грузового самолета Ил-76ВД-90, оснащенного двигателями ПС-90А-76, он уже получил сертификат соответствия этим требованиям, причем, запас по шуму на местности составляет 12 EPN дБ, а установка ЗПК нового типа повысит этот запас до 20 EPN дБ.

Все вновь создаваемые и перспективные российские воздушные суда и авиадвигатели[2] также будут удовлетворять требованиям действующих экологических стандартов. Однако перспектива их ужесточения неоднозначна. Зарубежные двигателестроительные компании в настоящее время активно создают научный и технологический задел для кардинального улучшения экологических характеристик перспективных авиадвигателей (подробнее см. [113]). В табл. 3.1 приведены сведения о некоторых зарубежных научно-исследовательских программах, нацеленных на существенное сокращение эмиссии вредных веществ и шума на местности, производимого авиационными двигателями.

---

[1] Как отмечено в п. 3.2, доработка авиатехники под требования ужесточающихся экологических норм может рассматриваться как продление периода эксплуатации изделий, которые иначе пришлось бы списать.

[2] Подробнее эти изделия и их характеристики описаны в главе 4.

*Таблица 3.1*

Основные исследовательские программы экологической направленности, реализуемые в зарубежном авиационном двигателестроении

| Название программы / страна | Основные организации-участники | Сроки реализации / бюджет, млн долл. | Ожидаемые результаты (в части экологических характеристик) |
|---|---|---|---|
| UEET (Ultra Efficient Engine Technology) / США | NASA, General Electric, Pratt & Whitney, Honeywell, Rolls- Royce, Boeing, и др. | 2000–2006 / 370 | Радикальное (на 70...80 %) снижение эмиссии вредных веществ (прежде всего, окислов азота) |
| EEFAE (Efficient and Environmentally Friendly Aero Engine) / ЕС | EADS, BAE Systems, Dassault, SAAB, Alenia | 2000–2004 / 97 (первый этап) | Создание технологии серийного двигателя с низким уровнем эмиссии (1-й этап); Создание технологии “экологически чистого” авиадвигателя (2-й этап) |
| SILENCE(R) / ЕС | Более 50 компаний, в т.ч., Rolls- Royce, MTU, SNECMA Moteurs, и т.д. | 2001–2005 / 56 | Снижение уровня шума на местности на наиболее напряженных режимах работы на 50 % от ныне достигнутого уровня |

Характерные суммы затрат по этим программам составляют десятки или даже сотни миллионов долларов в год, что существенно выше ожидаемых размеров ассигнований из российского государственного бюджета и из собственных средств отечественных двигателестроительных предприятий. Уверенность зарубежных двигателестроителей в успехе реализации экологических программ позволяет, например, NASA предлагать к 2020 г. ужесточить требования ИКАО по шуму на местности еще на 10..12 EPN дБ, по сравнению с требованиями Главы 4, см. [52]. Также весьма радикально предполагается сократить выбросы вредных веществ, в т.ч. $CO_2$, хотя реализуемость этих планов нуждается в дополнительном обосновании. Несоответствие современным и перспективным экологическим стандартам стало одним из главных факторов, определивших низкую конкурентоспособность отечественной авиатехники на мировом рынке. Выживание российского гражданского авиастроения возможно лишь при условии ликвидации отставания от зарубежных конкурентов в части экологических характеристик продукции. Поэтому руководители и работники отечественных авиастроительных предприятий и научных центров осознают необходимость активизации НИОКР в сфере авиационной экологии – см., например, [32, 52, 64, 131]. Вопреки распространенному стереотипу, в нашей стране экологическим проблемам гражданской авиации уделялось значительное внимание еще в советскую эпоху, см., например, [52]. Российская авиационная промышленность и отраслевая наука сохранили потенциал, необхо-

димый для радикального улучшения экологических параметров перспективных авиадвигателей. Так, например, в ВИАМ с применением математического моделирования созданы новые типы звуко- и вибропоглощающих материалов, имеющих сложную структуру (сотовую, пористую, многослойную) и способных работать в условиях высоких температур, см. [64]. Головные НИИ отрасли – ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского и ЦИАМ им. П.И. Баранова – располагают современным арсеналом методов математического моделирования и натурного эксперимента для исследования акустических и эмиссионных характеристик самолетов и авиадвигателей, см. [52, 131]. Исследуются и принципиально новые, радикальные способы снижения экологического воздействия авиации на окружающую среду.

### *3.1.2. Модель стимулирования продаж авиатехники путем последовательного ужесточения экологических норм*

В последнее время среди руководителей и специалистов российских авиастроительных предприятий и научно-исследовательских организаций весьма популярен следующий тезис (см., например, [73]):

*“Введение и последовательное ужесточение развитыми странами мира авиационных экологических стандартов преследует не столько цели защиты окружающей среды, декларируемые официально, сколько цели завоевания зарубежными компаниями более благоприятных позиций на рынках авиатехники и авиаперевозок”.*

В пользу этой точки зрения говорит и недостаточно убедительное научное обоснование нормативных уровней шума на местности и эмиссии вредных веществ, с позиций экологии и медицины. Так, на долю гражданской авиации в настоящее время приходится около 13 % суммарного объема выбросов $CO_2$ всеми видами транспорта и лишь около 2 % общего объема выбросов $CO_2$ в результате деятельности человека. В свою очередь, действуют не менее значимые природные источники парниковых газов, поэтому авторитетные российские и зарубежные специалисты в области метеорологии (см., например, [59]) высказывают сомнения в том, что антропогенные выбросы парниковых газов и тепла оказывают решающее влияние на глобальные изменения климата. Здесь не ставится задачи проверки обоснованности введенных к настоящему моменту или перспективных экологических норм. Анализируется лишь экономическая заинтересованность в их введении и дальнейшем ужесточении зарубежных авиастроительных фирм и авиакомпаний. Если будет обнаружено, что такая заинтересованность в принципе может иметь место, нельзя исключать, что экологические нормы используются, в т.ч., и как орудие конкурентной борьбы на мировых рынках воздушных перевозок и авиатехники. Следует особо подчеркнуть, что при этом не исключается и официально декларируемый мотив защиты окружающей среды и здоровья населения, поэтому актуальность НИОКР в области авиационной экологии ни в коем случае не подвергается сомнению.

Более того, они необходимы в т.ч. и для более тщательного обоснования вводимых экологических ограничений в гражданской авиации.

Как отмечено в работе [75], далеко не все прогрессивные технические новшества являются выгодными или хотя бы нейтральными, с экономической точки зрения, для всех участников рынка. Даже принося значительную экономию народному хозяйству в целом, они, тем не менее, могут ухудшать положение отдельных заинтересованных субъектов. Так, в указанной работе [75] рассмотрена модель конфликта интересов между производителем-монополистом и эксплуатирующими организациями, возникающего при повышении надежности авиадвигателей. Способствуя сокращению затрат эксплуатирующих организаций, повышение ресурса или средней наработки двигателей на съем приводит, в то же время, к сокращению натуральных объемов спроса на новые изделия и их ремонт. При переходе к 4-му поколению авиадвигателей, характерные значения ресурса повысились от нескольких тысяч до десятков тысяч летных часов, что могло привести к сокращению спроса на продукцию отрасли (в натуральном выражении) практически на порядок. В работе [73] высказывается предположение о том, что, именно опасаясь кардинального сокращения спроса на авиадвигатели и их ремонт вследствие наметившегося в 1970-х гг. радикального повышения их надежности, зарубежные двигателестроительные компании сами инициировали принятие экологических норм с перспективой последующего ужесточения. При этом они, в принципе, могли рассчитывать на следующие эффекты:

- вынужденное удорожание авиадвигателей из-за необходимости удовлетворить экологическим требованиям, и, как следствие, - недопущение спада выпуска продукции в стоимостном выражении, несмотря на повышение долговечности;
- оживление спроса на новые авиадвигатели со стороны авиакомпаний развитых стран, а также стран третьего мира (для выполнения международных перевозок), поскольку старые авиадвигатели уже не смогут удовлетворять ужесточающимся экологическим требованиям.

Тактика стимулирования спроса на продукцию путем ее “принудительного ускоренного обновления” распространена весьма широко. Например, на рынках некоторых потребительских товаров (одежды и обуви, бытовой техники и электроники), агрессивная реклама и соображения моды заставляют потребителей обновлять свое имущество гораздо чаще, чем оно изнашивается физически. Однако покупатели авиатехники, авиакомпании – деловые предприятия, нацеленные на извлечение дохода. Их поведение которых гораздо более рационально, по сравнению с поведением покупателей потребительских товаров, и гораздо слабее подвержено влиянию рекламно-пропагандистских мероприятий. Заставить их выводить из эксплуатации авиатехнику, не выработавшую полностью свой ресурс, могут лишь жесткие ограничения, которым авиакомпании будут вынуждены

подчиниться. Поэтому в данном случае более уместна аналогия с другими рынками – компьютеров и программного обеспечения. Компьютерная техника обновляется гораздо чаще, чем того требуют рациональные соображения повышения ее производительности. При этом возможность продолжения эксплуатации предыдущих поколений компьютеров фактически блокируется по причине их несовместимости с динамично обновляемым программным обеспечением.

С участием Т.М. Гусманова была разработана следующая упрощенная модель первичного рынка авиадвигателей в условиях регулярного ужесточения экологических норм [82, 93]. Среднегодовой налет на одно воздушное судно (измеряемый в летных часах) обозначим $\eta$, а средний ресурс авиадвигателей (в летных часах) – $T$. Тогда в отсутствие регулярного ужесточения экологических норм, средний срок службы авиадвигателей определялся бы исключительно их физическим износом, и составлял бы, в среднем, $\frac{T}{\eta}$ лет. Предположим, что ужесточение экологических норм происходит, в среднем, раз в $\tau$ лет, где $\tau < \frac{T}{\eta}$. Число авиадвигателей определенного класса, эксплуатирующихся на авиалиниях развитых стран, а также на международных авиалиниях, на которых также действуют ужесточающиеся экологические стандарты, обозначим $N$. Таким образом, за счет периодического ужесточения экологических норм, среднегодовой объем продаж новых авиадвигателей возрастет с $\frac{N \cdot \eta}{T}$ штук до $\frac{N}{\tau}$ штук.

Разумеется, полученный прирост объемов сбыта не является для зарубежных двигателестроителей “бесплатным”. Он требует значительных (порядка десятков или даже сотен миллионов долларов в год) затрат на улучшение экологических характеристик авиадвигателей, а также на возможное лоббирование ужесточения экологических норм. Выигрыш производителей авиадвигателей от ужесточения экологических норм должен оправдывать эти затраты. Обозначим прирост постоянных затрат (в расчете на год) $C$. Поставим условие возрастания прибыли двигателестроительных компаний:

$$\delta \cdot \frac{N}{\tau} - C > \delta \cdot \frac{N \cdot \eta}{T}, \tag{3.1}$$

где $\delta$ – т.н. *маржинальная прибыль* двигателестроительного предприятия (т.е., разность цены и средних переменных затрат, приходящихся на один авиадвигатель).

Максимальная периодичность пересмотра норм, удовлетворяющая неравенству (3.1), определяется следующей формулой:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{\frac{\eta}{T} + \frac{C}{\delta \cdot N}} = \frac{T}{\eta + \frac{C \cdot T}{\delta \cdot N}}. \tag{3.2}$$

Следовательно, пересмотр экологических норм в сторону ужесточения должен происходить не реже, чем раз в $\tau_{max}$ лет. Разумеется, предлагаемая модель является упрощенной[1] и содержит ряд принципиальных допущений. Прежде всего, более высокий уровень экологического совершенства изделий должен быть достижимым при использовании имеющихся технологий, и при сохранении достаточного уровня маржинальной прибыли двигателестроительных фирм $\delta$ – иначе само авиационное двигателестроение уже не будет заинтересовано в столь быстром ужесточении экологических норм. Кроме того, зарубежное авиационное двигателестроение рассматривается в данной модели как единое целое, конкуренция внутри него не учитывается. Правомерность такого допущения можно обосновать следующим образом. Если зарубежное авиационное двигателестроение в целом может получить существенный выигрыш за счет введения экологических норм, у всех зарубежных двигателестроительных фирм существуют стратегические общие интересы, во имя которых возможно создание коалиции для проведения согласованной политики. Что касается конкуренции между отдельными двигателестроительными фирмами (бесспорно, чрезвычайно жесткой), она, в этом случае, может рассматриваться лишь как механизм перераспределения общего выигрыша.

### *3.1.3. Учет интересов авиакомпаний при последовательном ужесточении экологических норм*

В статье [19] был поднят вопрос об экономических последствиях введения Главы 4 для авиакомпаний развитых стран мира. Так как экологические нормы обязательны для исполнения, при их регулярном ужесточении авиакомпаниям, работающим в развитых странах мира, в принципе, пришлось бы смириться и с возможным возрастанием затрат по причине неполной выработки ресурса авиатехники. Однако гражданская авиация является важнейшей отраслью экономики, располагающей значительными финансовыми ресурсами и политическим влиянием. Поэтому вероятность успешного принятия нормативных актов, противоречащих ее интересам, невысока. Так, на рубеже 1990-х – 2000-х гг. ряд стран ЕС выступил в ИКАО с инициативой запретить эксплуатацию воздушных судов, доработанных путем установки ЗПК и сертифицированных повторно. Однако эти попытки встретили ожесточенное сопротивление авиакомпаний США, до 30 % парка которых составляли на тот момент именно доработанные воздушные суда (подробнее см., например, [19]). Необходимо проанализировать достижимость консенсуса между авиационной промышленностью и авиакомпаниями развитых стран по вопросу ужесточения экологических

[1] В частности, прибыль авиастроительных компаний, как показано в главе 1, отнюдь не пропорциональна выпуску, в силу наличия постоянных затрат и эффекта обучения. Однако эти факторы можно учесть в реальных расчетах. Используемая здесь модель максимально упрощена для демонстрации основной идеи.

норм. При совпадении их интересов, повышается вероятность успешного лоббирования принятия все более жестких экологических стандартов, поскольку зарубежная авиационная промышленность приобретает сильного стратегического союзника в лице авиакомпаний.

В последние годы наблюдаются следующие процессы. Авиакомпании развитых стран продают еще исправную авиатехнику в страны третьего мира. Перевозчики в этих странах, в свою очередь, в массовом порядке списывают авиатехнику предыдущего поколения, также еще имеющую остаток ресурса. Все больше российских авиакомпаний стремится использовать подержанную зарубежную авиатехнику даже на внутренних авиалиниях, исходя из следующих соображений:

- высокая надежность, развитая система послепродажного обслуживания и логистической поддержки (о важности этих факторов подробнее см. [74, 76, 78]),
- топливная экономичность, приобретающая все большее значение в условиях резкого удорожания авиатоплива.

В связи с этим, возникает следующая гипотеза:

*“Именно возможность продажи авиатехники предыдущих поколений на вторичном рынке в страны третьего мира позволяет чаще ужесточать экологические нормы без ущерба для интересов авиакомпаний развитых стран”.*

Т.е., вторичный рынок стран третьего мира играет роль “коллектора” для старой авиатехники, что позволяет интенсивнее обновлять ее парк в развитых странах. Проверить это предположение позволяет следующая упрощенная модель вторичного рынка авиадвигателей, разработанная при участии Т.М. Гусманова [82, 93]. В дополнение к использованным ранее, введем следующие условные обозначения. Число авиадвигателей в парках авиакомпаний стран третьего мира, которые эксплуатировались на внутренних авиалиниях, обозначим $N_{\text{внутр}}$. Среднегодовой налет на внутренних авиалиниях этих стран обозначим $\eta_{\text{внутр}}$. Предположим, что при каждом ужесточении экологических норм, авиатехника предыдущего поколения, принадлежащая авиакомпаниям развитых стран, перестает удовлетворять новым нормам, и должна быть продана. Разумеется, она должна иметь положительный остаток ресурса, т.е., $\tau \cdot \eta < T$. Каждый из $N$ авиадвигателей, ранее эксплуатировавшихся в развитых странах, имеет перед продажей на вторичном рынке остаток ресурса, равный, в среднем, $T - \tau \cdot \eta$ летных часов. Тогда среднегодовой объем предложения “подержанных” авиадвигателей предыдущего поколения составит (в летных часах неизрасходованного ресурса):

$$s_{\text{вторичн}} = \frac{N}{\tau} \cdot (T - \eta \cdot \tau) = N \cdot \left( \frac{T}{\tau} - \eta \right). \qquad (3.3)$$

Предположим также, что в дальнейшем авиатехника предыдущего поколения должна эксплуатироваться, преимущественно, на внутренних авиалиниях стран третьего мира, полностью вытесняя там авиатехнику более старых поколений. Тогда среднегодовой объем спроса на авиадвигатели на вторичном рынке составит (в летных часах ресурса):

$$d_{\text{вторичн}} = N_{\text{внутр}} \cdot \eta_{\text{внутр}}. \tag{3.4}$$

Авиакомпании развитых стран согласятся на ускоренное списание своей авиатехники лишь при условии, что возможна ее продажа на вторичном рынке по цене, соответствующей остатку ресурса. Это условие выполнимо, если предложение авиадвигателей, выраженное в летных часах неиспользованного ресурса, не будет превышать спрос, т.е., при справедливости неравенства:

$$N_{\text{внутр}} \cdot \eta_{\text{внутр}} \geq N\left(\frac{T}{\tau} - \eta\right). \tag{3.5}$$

Следовательно, пересмотр экологических норм не будет приводить к потерям для авиакомпаний развитых стран, если он будет происходить не чаще, чем в $\tau_{\min}$ лет, где

$$\tau_{\min} = \frac{T}{\eta + \eta_{\text{внутр}} \cdot \left(N_{\text{внутр}}/N\right)}. \tag{3.6}$$

В отсутствие “коллектора” в виде вторичного рынка, минимально приемлемый период ужесточения норм был бы равен $T/\eta$, т.е., за период $\tau$ должна происходить полная выработка ресурса авиадвигателей. Из полученного выражения видно, что возможность сокращения этого интервала определяется относительной емкостью вторичного рынка, т.е., соотношением суммарного налета авиадвигателей в развитых странах $N \cdot \eta$ и на внутренних авиалиниях стран третьего мира $N_{\text{внутр}} \cdot \eta_{\text{внутр}}$. В практических расчетах нужно принимать во внимание, что суммарный налет воздушных судов и авиадвигателей в авиакомпаниях развитых стран многократно превышает налет парка, эксплуатируемого на внутренних авиалиниях стран третьего мира. При этом характерные значения среднегодового налета на одно воздушное судно также существенно отличаются в пользу авиакомпаний развитых стран (см., например, [37, 46, 100]).

Согласование экономических интересов зарубежных производителей авиадвигателей и авиакомпаний развитых стран мира возможно, если периодичность пересмотра экологических норм будет удовлетворять одновременно условиям (3.1) и (3.5), или следующему двойному неравенству:

$$\tau_{\min} \leq \tau < \tau_{\max},$$

которое выполняется только при условии:

$$\frac{C \cdot T}{\delta \cdot N} < \eta_{\text{внутр}} \cdot \frac{N_{\text{внутр}}}{N}.$$

Это условие, после упрощения, принимает следующий вид:

$$\frac{C}{\delta} \cdot T < \eta_{\text{внутр}} \cdot N_{\text{внутр}}. \qquad (3.7)$$

Для иллюстрации применения предложенных моделей первичного и вторичного рынков авиадвигателей, рассмотрим следующий условный пример. Пусть $N = 10\,000$, $N_{\text{внутр}} = 5\,000$; $\eta = 3\,000$ л.ч./г, $\eta_{\text{внутр}} = 2\,000$ л.ч./г; $T = 30\,000$ л.ч., $C = 100$ млн долл./г, $\delta = 500$ тыс.долл. Заметим, что неравенство (3) при таких условиях выполняется с запасом:

$$\frac{100 \text{ млн долл./г}}{500 \text{ тыс. долл.}} \times 30\,000 \text{ л.ч.} < 2\,000 \text{ л.ч./г} \cdot 5\,000.$$

С одной стороны, согласно формуле (3.2), дополнительные "экологические" затраты зарубежных двигателестроителей оправдаются лишь в том случае, если ужесточение экологических норм будет происходить, в среднем, не реже, чем раз в 8,3 лет. С другой стороны, согласно формуле (3.6), средняя периодичность пересмотра экологических стандартов может быть сокращена без ущерба для авиакомпаний развитых стран с 10 до 7,5 лет, или на 25 %, благодаря наличию вторичного рынка авиатехники. Следовательно, в данном примере интересы зарубежных двигателестроительных компаний и перевозчиков развитых стран мира вполне могут быть согласованы, если средняя периодичность пересмотра экологических норм составит от 7,5 до 8,3 лет.

Следует подчеркнуть, что, если гипотетический "сговор" зарубежных авиастроителей и перевозчиков имел место в реальности, сам факт его осуществления является весьма поучительным для российских авиастроителей и авиакомпаний, нынешние отношения между которыми можно назвать антагонистическими. Их зарубежные конкуренты осознали наличие общих экономических интересов, и, проводя согласованную политику в области экологических характеристик авиатехники, продемонстрировали способность к стратегическому мышлению и долгосрочному (на десятки лет вперед) планированию своего развития. Этому, безусловно, способствовала и политика органов государственного управления развитых стран мира, нацеленная на всемерную поддержку национальной авиационной промышленности и гражданской авиации.

### *3.1.4. "Нерыночные" инструменты конкурентной борьбы на рынках авиаперевозок и авиатехники*

Возможности использования экологических норм как инструментов стимулирования продаж авиатехники также небезграничны. По данным [52, 73], почти за 30 лет целенаправленной работы, проводимой зарубежным двигателестроением в условиях ужесточения экологических норм, уровень шума удалось понизить лишь на 8..10 дБ, что и отражено в требованиях Главы 4. Таким образом, возможности ныне применяемых техноло-

гий снижения уровня шума авиадвигателей близки к исчерпанию (что подтверждается и анализом трендов изменения экологических характеристик гражданской авиатехники [159]), и дальнейшее продвижение в этом направлении требует все больших затрат. Возможно, существенного прогресса удастся достичь за счет применения революционно новых технологий – например, активных систем шумоподавления, и т.п., разработка и внедрение которых, опять-таки, сопряжены со значительными затратами. Поэтому можно с большой долей уверенности прогнозировать, что арсенал "нерыночных" инструментов конкурентной борьбы, применяемых авиационной промышленностью развитых стран мира, будет стремительно расширяться. Стимулировать обновление парка авиатехники (и, тем самым, увеличить объем продаж) можно, ужесточая требования к составу БРЭО, обусловленные соображениями безопасности полетов, и т.д. Авиакомпании также активно прибегают к «нерыночным» методам конкурентной борьбы. Так, например, уже составляются т.н. "черные списки" авиакомпаний стран третьего мира, которым запрещено выполнять полеты в развитые страны, см. [53]. При этом официальным критерием занесения авиакомпании в "черный список" является ее несоответствие комплексным критериям безопасности. Здесь имеется в виду безопасность полетов в широком смысле, т.е., летная годность авиатехники, уровень подготовки экипажей, и др., а также системные меры, направленные на предотвращение террористических актов, распространения эпидемий, и т.п. Можно заметить, что в "черные списки" попал и ряд авиакомпаний стран третьего мира, эксплуатирующих современные воздушные суда западноевропейского или американского производства. Таким образом, не все факторы, учитываемые при допуске авиакомпании на мировой рынок авиаперевозок, непосредственно подконтрольны ей самой, – например, дестабилизация политической или социально-экономической обстановки в стране сделает бессмысленными все усилия авиакомпании, направленные на приобретение современных воздушных судов ведущих западных производителей.

На основании полученных модельных оценок и качественных прогнозов, можно сформулировать ряд рекомендаций российским авиастроительным предприятиям, НИИ, органам государственного управления. Прежде всего, следует активно продолжать НИОКР в сфере авиационной экологии, причем, исследования должны идти в трех основных направлениях:

- перспективные исследования, направленные на обеспечение приемлемого уровня экологичности сверхзвуковых гражданских самолетов второго поколения (т.к. экологические соображения являются одним из главных препятствий для начала их массового производства и эксплуатации, см., например, [52]);
- разработка технических решений, направленных на снижение шума отечественных авиадвигателей и эмиссии вредных веществ до уровня, определяемого современными и перспективными международными стандартами ("догоняющие" исследования);

- комплексная оценка воздействия авиационного шума на комфорт и здоровье населения, а эмиссии вредных веществ и тепла – на изменение климата и загрязнение окружающей среды, с целью корректного научного обоснования экологических норм.

Следует подчеркнуть, что уровень перспективных экологических требований должен быть научно обоснованным. Приоритеты защиты окружающей среды и здоровья населения бесспорны. Но экологические нормы ни в коем случае не должны становиться предметом политических спекуляций и орудием недобросовестной конкуренции, а также препятствием на пути новых технологий в двигателестроении и энергетике, в т.ч. обещающих в перспективе лучшие экологические характеристики (примеры приведены в работе [73]). В этом вопросе стратегические интересы отечественных авиастроителей совпадают с интересами авиакомпаний, как в России, так и за рубежом. Для защиты экономических интересов российской гражданской авиации и авиационной промышленности допустимо и целесообразно использование всего арсенала внешнеполитического влияния органов государственной власти РФ, тем более, что ведущие зарубежные страны регулярно прибегают к таким «нерыночным» мерам. Актуальность государственного вмешательства кардинально возрастает с ростом роли “нерыночных” инструментов конкурентной борьбы на мировых рынках авиаперевозок и авиатехники.

## 3.2. Анализ эффективности государственного регулирования в сфере авиационной экологии

### *3.2.1. Комплексный анализ эффективности улучшения экологических характеристик гражданской авиатехники*

Как было подчеркнуто в п. 3.1, формально ужесточение экологических стандартов ИКАО (Международной организации гражданской авиации, [183]) по шуму и эмиссии вредных веществ не затрагивает авиатехнику, уже находящуюся в эксплуатации. Однако многие экономически развитые страны мира – США, страны ЕС – вводят дополнительные ограничения на эксплуатацию старых изделий, требуя их ускоренного списания и досрочной замены изделиями нового поколения. Как было показано выше, последовательное ужесточение экологических норм в гражданской авиации может преследовать и цели стимулирования спроса авиакомпаний на новые изделия. Ускоренное списание авиатехники, достигаемое при ужесточении стандартов, позволяет авиастроительным предприятиям избежать спада выпуска в условиях стагнации авиаперевозок и низкого темпа физического старения парка (по причине высоких значений ресурса современных самолетов и авиадвигателей, позволяющих безопасно эксплуатировать их в течение 15...20 лет и более). Тем не менее, ужесточение экологических стандартов ни в коем случае не может быть продиктовано лишь ком-

мерческими интересами отдельных фирм и отраслей. Оно должно быть объективно обосновано, прежде всего, с точки зрения снижения вредного воздействия авиации на окружающую среду.

Потребление энергии и выбросы вредных веществ на протяжении жизненного цикла изделий (ЖЦИ) можно разделить на две группы: энергопотребление и эмиссия в процессе эксплуатации изделий, а также в процессе их изготовления. Последнему фактору редко уделяется внимание в экологических исследованиях, однако комплексная оценка энергетической и экологической эффективности обновления парка авиатехники требует учета всех стадий ЖЦИ. Производство современных гражданских самолетов и авиадвигателей представляет собой все более энергоемкий процесс, который может быть сопряжен и с эмиссией вредных веществ. Если ужесточение экологических норм вызывает ускоренное обновление парка, стимулирует продажи новой авиатехники, необходимо учитывать и выбросы на стадии производства изделий. Не окажутся ли они выше возможного снижения выбросов на этапе эксплуатации? Для обоснованного ответа на этот вопрос необходимы количественные оценки, полученные с участием А.И. Игнатьевой в работе [85].

Несмотря на существенное различие видов энергоносителей, используемых при производстве и эксплуатации авиатехники, энергозатраты на этих этапах ЖЦИ можно привести к сопоставимому виду, выразив их, например, в *т.н.э. – тоннах нефтяного эквивалента*. Если приближенно принять энергетическую ценность 1 т авиатоплива равной 1 т.н.э., тогда текущее энергопотребление в расчете на летный час эксплуатации самолета, выраженное в т.н.э., равно среднему часовому расходу авиатоплива самолетом данного типа $g$. Что касается суммарных затрат энергоносителей на производство самолета или авиадвигателя, их можно выразить следующим образом:

$$G = G_{\text{обр}} + \frac{1}{\eta}\sum_j \frac{g_j}{k_j}\cdot m_j, \qquad (3.8)$$

где $\eta$ – средний коэффициент полезного действия (КПД) генерации и передачи энергии, используемой на производственные нужды;

$G_{\text{обр}}$ – затраты энергоносителей на обработку и сборку элементов конструкции изделия;

$m_j$ – масса (в т) $j$-го конструкционного материала (металлов и сплавов, полимерно-композиционных материалов, и т.п.) в составе конструкции изделия;

$g_j$ – энергоемкость (в т.н.э.) производства 1 т $j$-го конструкционного материала;

$k_j$ – *коэффициент использования* $j$-го конструкционного *материала* (КИМ), равный отношению массы материала, содержащегося в одном готовом изделии, к массе материала, необходимого для выпуска данного изделия.

Количественные показатели эмиссии вредных веществ тепловыми двигателями (в т.ч., авиационными) весьма многообразны. Большое значение имеют выбросы окислов азота, несгоревших частиц сажи, а также одного из основных газов, вызывающих парниковый эффект – углекислого газа ($CO_2$). Если учитывать только последний показатель, тогда эмиссия в процессе эксплуатации изделий (в расчете на летный час) связана с потреблением энергоносителей следующим образом:

$$x_{\text{экспл}} = g \cdot e_{\text{экспл}}, \tag{3.9}$$

где $e_{\text{экспл}}$ – *индекс эмиссии* $CO_2$ на этапе эксплуатации, определяющий объем выбросов $CO_2$ при сжигании тонны авиатоплива. Его можно принять равным 3,125 т $CO_2$/т.н.э., см. [23].

Что касается объема эмиссии $CO_2$ в процессе производства изделий, обозначенного $X$, он имеет специфический характер. Непосредственно производство может не создавать вредных выбросов, однако с ними сопряжена выработка потребляемой авиастроительными предприятиями энергии. Как правило, это электроэнергия, вырабатываемая на электростанциях. Они, в свою очередь, могут работать на различных видах топлива (природный газ, уголь, нефтепродукты, и т.д.), каждому из которых соответствует свое значение индекса эмиссии, либо могут вообще не сжигать углеводородного топлива (ГЭС, АЭС). Если обозначить средний индекс эмиссии на стадии производства $\overline{e}_{\text{произв}}$, можно выразить суммарную эмиссию в процессе производства одного изделия следующим образом:

$$X = G \cdot \overline{e}_{\text{произв}}. \tag{3.10}$$

Показатели расхода энергоносителей $G$ и $g$, а также показатели эмиссии $X$ и $x_{\text{экспл}}$ можно трактовать как *«энергетические цены»* и *«экологические цены»* производства и эксплуатации изделий.

В табл. 3.2 приведены (согласно источникам [4, 42]) примерные значения энергоемкости производства основных видов конструкционных материалов, применяемых в авиастроении.

*Таблица 3.2*

Средняя энергоемкость производства некоторых конструкционных материалов, применяемых в авиастроении

| **Материал** | **Энергоемкость производства, т.н.э./т** | |
|---|---|---|
| | на тонну материала | на тонну изделия[44] |
| *Сталь* | 1 | 20 |
| *Дюралюминий* | 6 | 35 |
| *Титан* | 20 | 140 |

[44] При оценке энергоемкости тонны массы конструкции учитывалась энергоемкость процессов обработки. Также принималось во внимание, что КИМ может быть существенно ниже 100 %.

Современные конструкционные материалы (прежде всего, полимерно-композитные, ПКМ, см. [4]) обладают существенно лучшим соотношением прочности и массы, по сравнению с металлами и сплавами, что позволяет достигать более высокого уровня весового совершенства воздушных судов, повышая их экономичность в эксплуатации. Однако энергоемкость их производства также весьма высока. Так, по данным [42], производство 1 тонны ПКМ на основе углепластика может потребовать энергозатрат порядка 100 т.н.э. Некоторые новые виды ПКМ обладают еще более высокой энергоемкостью производства. В то же время, ПКМ, как правило, выигрывают у традиционных видов конструкционных материалов по величине коэффициента использования материала. При производстве ряда деталей самолетов и авиадвигателей из металлов и сплавов этот коэффициент принимает весьма низкие значения – порядка нескольких процентов (см. [4]) – по причине высокой доли отходов, образующихся в процессе механической обработки, которая, кроме того, является весьма энергоемкой. Применительно к полимерно-композитным материалам, коэффициент использования материала весьма близок к 100 % по следующей причине. Фактически, процесс производства этих материалов во многом совмещен с производством самих деталей. При этом сводится к минимуму механическая обработка, сопряженная с образованием большого количества отходов и значительными энергозатратами.

Получим некоторые приближенные оценки. Предположим, что масса конструкции среднемагистрального самолета пассажировместимостью около 150 мест составляет порядка 30 тонн, что соответствует показателям среднемагистральных самолетов, в частности, семейства Boeing-737. Если КПД производства и передачи электроэнергии равен 30 %, тогда (согласно данным табл. 3.2 и источников [4, 42]) суммарные затраты энергоносителей на производство одного самолета составят от 3 000...4 000 до 10 000...13 000 т.н.э., в зависимости от доли различных материалов в общей массе конструкции. В то же время, за период эксплуатации самолета, если его назначенный ресурс составляет 60 000 летных часов, а удельный расход топлива равен 2,5 тонн за летный час, будет израсходовано порядка 150 тысяч тонн авиатоплива (в реальности – даже более, поскольку расход топлива на этапах взлета и набора высоты существенно выше, чем на крейсерском режиме). Таким образом, даже по самым пессимистическим оценкам, энергопотребление на стадии производства современной авиатехники составляет не более 2...10 % энергопотребления на стадии ее эксплуатации. Доля эмиссии вредных веществ на стадии производства авиатехники еще ниже, поскольку часть необходимой авиастроительным производствам электроэнергии вырабатывается электростанциями с меньшим, чем при сжигании нефтепродуктов, или даже нулевым коэффициентом удельной эмиссии.

Целесообразно ли, с точки зрения энергосбережения или охраны окружающей среды, досрочное списание изделий старого поколения и их за-

мена на изделия нового типа? Рассмотрим два альтернативных решения: либо старое изделие эксплуатируется до полной выработки ресурса, и лишь затем заменяется изделием нового типа, либо оно списывается и заменяется немедленно при появлении на рынке нового поколения авиатехники. Предположим, что старое воздушное судно еще можно эксплуатировать в течение $\Delta T^{\text{стар}}$ летных часов. За это время суммарное потребление авиатоплива составит $\left[\Delta T^{\text{стар}} \cdot g^{\text{стар}}\right]$ тонн, где $g^{\text{стар}}$ средний часовой расход топлива старого изделия. Если немедленно приобрести воздушное судно нового типа с меньшим часовым расходом топлива, равным $g^{\text{нов}}$, за указанный период оно израсходует $\left[\Delta T^{\text{стар}} \cdot g^{\text{нов}}\right]$ тонн авиатоплива. В то же время, на производство нового изделия было затрачено $G^{\text{нов}}$ т.н.э. На период, когда еще можно было эксплуатировать старое воздушное судно, можно отнести определенную долю этих энергозатрат, пропорциональную доле израсходованного ресурса нового воздушного судна. Обозначим ресурс воздушного судна нового типа $T^{\text{нов}}$, летных часов. Тогда можно считать, что при немедленном приобретении нового изделия дополнительные энергозатраты за тот период, когда еще можно было эксплуатировать старое воздушное судно, составят $\left[G^{\text{нов}} \cdot \frac{\Delta T^{\text{стар}}}{T^{\text{нов}}}\right]$ т.н.э. Сравним суммарные энергозатраты за указанный период при эксплуатации старого изделия до полной выработки ресурса и при его немедленной замене на новое изделие. С точки зрения энергосбережения, досрочное списание изделий старого поколения и приобретение изделий нового поколения будет эффективным только при выполнении следующего условия:

$$G^{\text{нов}} \cdot \frac{\Delta T^{\text{стар}}}{T^{\text{нов}}} + \Delta T^{\text{стар}} \cdot g^{\text{нов}} < \Delta T^{\text{стар}} \cdot g^{\text{стар}},$$

которое можно упростить следующим образом (заметим, что в данной модели остаток ресурса старых изделий оказывается несущественным):

$$\frac{G^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + g^{\text{нов}} < g^{\text{стар}}, \text{ или } \frac{G^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} < g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}. \qquad (3.11)$$

Т.е. энергозатраты на производство нового изделия, приходящиеся на один летный час его ресурса, должны быть ниже, чем разница эксплуатационных энергозатрат старого и нового изделий, приходящихся на летный час. Аналогичное соотношение можно получить и для выбросов $CO_2$. Сокращение ущерба окружающей среде при немедленной замене старых изделий на новые достигается лишь в том случае, если выполняется следующее неравенство:

$$\frac{X^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} < x^{\text{стар}}_{\text{экспл}} - x^{\text{нов}}_{\text{экспл}}. \qquad (3.12)$$

Для иллюстрации применения предлагаемого подхода, приведем следующий пример. Пусть энергозатраты на производство одного самолета нового поколения составляют 12 000 т.н.э.; а его ресурс составляет 60 000 л.ч. Тогда, согласно формуле (3.12), досрочное списание изделий старого поколения будет целесообразным с точки зрения энергосбережения, если удельный расход топлива изделий нового поколения будет ниже по сравнению со старыми изделиями, по меньшей мере, на

$$\left(g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}\right)_{\min} = \frac{G^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} = \frac{12\,000}{60\,000}\text{ т.н.э./л.ч. = 0,2 т/л.ч,}$$

что вполне достижимо при появлении нового типа воздушных судов. Следует подчеркнуть, что в расчете использовано пессимистическое значение затрат энергоресурсов на производство воздушного судна. В то же время, если при появлении нового типа изделий условие (3.12) не выполняется, досрочная замена авиатехники будет лишь увеличивать техногенную нагрузку авиации на окружающую среду.

### *3.2.2. Анализ целесообразности государственного вмешательства с целью улучшения экологических характеристик авиатехники*

Как правило, списание по экологическим соображениям авиатехники, обладающей остатком ресурса, не является добровольным шагом авиакомпаний. Оно вызвано ужесточением экологических норм и запретом на дальнейшую эксплуатацию изделий, не удовлетворяющих новому уровню требований. Однако (по крайней мере, в части выбросов $CO_2$) улучшение экологических параметров происходит одновременно с повышением топливной экономичности авиадвигателей, поскольку выбросы $CO_2$ пропорциональны расходу топлива[45]. В связи с этим, возникает следующая гипотеза: авиакомпании сами, без государственного принуждения, будут заинтересованы в досрочном списании старой авиатехники и ее замене на более экологически чистую. Следовательно, государственное регулирование в области экологии нецелесообразно – свободный рынок автоматически обеспечит повышение экологической чистоты техники (в т.ч. авиационной). Наиболее известный сторонник такой точки зрения – известный экономист неоклассического направления М. Портер, см. [119], поэтому данная гипотеза часто называется *гипотезой Портера*. Он не отрицает полностью необходимости принятия законов об охране окружающей среды, см. [119, 167], однако полагает, что они необходимы лишь в силу ограниченной рациональности предпринимателей, которые в отсутствие подобных законов могут не осознавать, что замена техники на более экологически чистую экономически выгодна им самим.

---

[45] Если в ряде отраслей изделия новых поколений могут обеспечивать более низкие значения индекса эмиссии (например, за счет улавливания $CO_2$, подробнее см. [139, 140]), то в авиации подобные решения вряд ли реализуемы. $CO_2$ содержится в реактивной струе авиадвигателя, которая и обеспечивает движение самолета.

Насколько эффективны рыночные стимулы, побуждающие авиакомпании к ускоренной замене авиатехники на более экологически чистую? Проверка гипотезы Портера была предпринята при участии А.И. Игнатьевой в работах [84, 85]. В п. 2.1 уже было получено условие (2.3), определяющее экономическую заинтересованность в досрочном списании старой авиатехники и ее замене изделиями нового поколения. При этом, как и при выводе условий (3.11, 3.12), проводится сравнение двух альтернатив: продолжения эксплуатации старого изделия до полной выработки его ресурса, либо, его немедленной замены изделием нового типа. Однако целевой функцией в данном случае являются затраты авиакомпании. Как показано в п. 2.1, досрочное списание авиатехники становится целесообразным с точки зрения снижения эксплуатационных затрат, когда выполняется следующее неравенство (идентичное неравенствам (2.3) и (2.4)):

$$c_{\text{ам}}^{\text{нов}} = \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} < c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}, \qquad (3.13)$$

где $c_{\text{опер}}^{\text{стар}}$, $c_{\text{опер}}^{\text{нов}}$ – операционные затраты в расчете на летный час самолетов, соответственно, старого и нового типов;

$c_{\text{ам}}^{\text{нов}}$ – средняя ставка амортизации нового типа самолетов в расчете на летный час, определяемая как отношение цены самолета нового типа $P^{\text{нов}}$ к его назначенному ресурсу $T^{\text{нов}}$, выраженному в летных часах.

В свою очередь, операционные затраты складываются, прежде всего, из затрат на горюче-смазочные материалы (ГСМ), а также на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР):

$$c_{\text{опер}} = c_{\text{ТОиР}} + g \cdot p_{\text{ГСМ}}, \qquad (3.14)$$

где $c_{\text{ТОиР}}$ – средние затраты на ТОиР в расчете на летный час;

$g$ – удельный расход топлива, тонн на летный час;

$p_{\text{ГСМ}}$ – цена тонны авиатоплива.

Итак, досрочное списание изделий старого поколения по соображениям сокращения выбросов целесообразно при выполнении условия (3.12), а по соображениям экономии энергоресурсов – при выполнении условия (3.11). Всегда ли при этом авиакомпании будут экономически заинтересованы в досрочном списании старых изделий, т.е., будет ли выполняться условие (3.13)? По объективным причинам, соотношения экономических, энергетических и экологических цен производства и эксплуатации изделий существенно различаются:

$$\frac{P}{c_{\text{опер}}} \neq \frac{G}{g}, \quad \frac{G}{g} \neq \frac{X}{x_{\text{экспл}}}, \quad \frac{X}{x_{\text{экспл}}} \neq \frac{P}{c_{\text{опер}}}.$$

Необходимо учитывать, что цена изделия, помимо стоимости потребленных в процессе производства энергоресурсов, включает в себя целый ряд

иных статей затрат: на НИОКР, на оплату высококвалифицированного труда, и т.д., а также прибыль производителя:

$$P = p_{\text{энерг}} \cdot G + P_{\text{проч}}, \tag{3.15}$$

где $p_{\text{энерг}}$ – средняя цена энергоресурсов, потребляемых в процессе производства изделий;

$P_{\text{проч}}$ – прочие составляющие цены изделия, не связанные непосредственно с потреблением энергоресурсов.

Перепишем левую и правую части неравенства (3.13) в следующей форме:

$$\frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} = \frac{p_{\text{энерг}} \cdot G^{\text{нов}} + P^{\text{нов}}_{\text{проч}}}{T^{\text{нов}}};$$

$$c^{\text{стар}}_{\text{опер}} - c^{\text{нов}}_{\text{опер}} = \left(c^{\text{стар}}_{\text{ТОиР}} - c^{\text{нов}}_{\text{ТОиР}}\right) + \left(g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}\right) p_{\text{ГСМ}},$$

где $c^{\text{стар}}_{\text{ТОиР}}$, $c^{\text{нов}}_{\text{ТОиР}}$ – средние затраты на ТОиР в расчете на летный час самолетов, соответственно, старого и нового типов.

Доля стоимости потребленных энергоресурсов в цене изделия может быть невелика. Так, по данным источника [150], доля затрат на электроэнергию и топливо в общих издержках всех предприятий авиационного двигателестроения США составляет лишь 1–2 %, т.е. $p_{\text{энерг}} \cdot G \ll P_{\text{проч}}$. В то же время, на стадии эксплуатации именно затраты на ГСМ становятся преобладающей статьей издержек авиакомпаний. При существующих ценах на авиатопливо, как правило, выполняются следующие неравенства:

$$g \cdot p_{\text{ГСМ}} \gg c_{\text{ТОиР}},$$

$$\text{и } \left(g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}\right) \cdot p_{\text{ГСМ}} > c^{\text{стар}}_{\text{ТОиР}} - c^{\text{нов}}_{\text{ТОиР}}.$$

Следовательно, при выполнении неравенства (3.13), как правило, выполняется следующее неравенство:

$$p_{\text{энерг}} \cdot \frac{G^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} < p_{\text{ГСМ}} \left(g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}\right),$$

или (считая, что $p_{\text{энерг}} \sim p_{\text{ГСМ}}$),

$$\frac{G^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} < g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}},$$

совпадающее с условием (3.11). Таким образом, при выполнении условия (3.13), условие (3.11), как правило, выполняется, но обратное справедливо далеко не всегда. Т.е. экономическая заинтересованность авиакомпаний в досрочной замене старой техники не гарантирована, даже когда такая замена целесообразна с точки зрения энергосбережения.

В свою очередь, досрочное списание авиатехники становится целесообразным с точки зрения снижения потребления энергоресурсов в тот момент, когда выполняется неравенство (3.11). Как правило, среднее значение коэффициента удельной эмиссии на стадии производства ниже, чем

на стадии эксплуатации ($\overline{e}_{\text{произв}} < e_{\text{экспл}}$). Тогда при выполнении неравенства (3.11), справедливо следующее неравенство:

$$\overline{e}_{\text{произв}} \cdot \frac{G^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} < e_{\text{экспл}} \cdot \left( g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}} \right).$$

Но, согласно ранее введенным обозначениям, $\overline{e}_{\text{произв}} \cdot G = X$, а $e_{\text{экспл}} \cdot g = x_{\text{экспл}}$. Поэтому последнее неравенство можно переписать в следующей форме:

$$\frac{X^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} < x_{\text{экспл}}^{\text{стар}} - x_{\text{экспл}}^{\text{нов}},$$

т.е. оно совпадает с условием (3.12). Это означает, что при выполнении условия (3.11), условие (3.12), как правило, выполняется, но обратное справедливо далеко не всегда. Т.е. целесообразность ускоренной замены старых изделий с экологической точки зрения достигается с большей вероятностью, чем с точки зрения энергосбережения.

Сопоставляя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что экономическая заинтересованность эксплуатирующих организаций в ускоренной замене изделий на технику нового поколения будет достигаться (по мере сокращения расхода топлива изделиями новых типов) позже, чем такая замена станет оправданной как с экологической, так и с энергетической точки зрения. Поэтому, вопреки тезису, высказанному М. Портером и некоторыми другими противниками государственного вмешательства в экономику, иногда оно необходимо для обеспечения экономии энергоресурсов и сокращения техногенной нагрузки на окружающую среду.

Этот вывод усиливается, если принять во внимание следующие факторы. В качестве единственного вида воздействия авиации на окружающую среду здесь рассматривались выбросы $CO_2$, приблизительно пропорциональные расходу топлива, поэтому повышение экологической чистоты авиатехники сопровождалось и повышением ее экономической эффективности. Однако наряду с выбросами парниковых газов имеет значение и эмиссия иных видов вредных веществ – угарного газа (CO), сажевых частиц (C), окислов азота ($NO_X$), и т.п., а также шум, производимый летательными аппаратами [23]. Связь между уменьшением этих вредных воздействий и сокращением расхода топлива уже не является прямой и даже монотонной. Ряд специалистов в области проектирования авиадвигателей отмечает [73], что до определенного момента соображения улучшения экологических характеристик и прочих показателей совершенства авиадвигателей не противоречили друг другу. Например, повышение полноты сгорания топлива сокращает не только удельный расход топлива, но и выбросы несгоревших остатков топлива, дымность выхлопа. Как отмечено в работе [73], сам по себе переход к двухконтурным турбореактивным авиадвигателям и повышение степени их двухконтурности, целесообразные с точки зрения повышения удельной тяги и топливной экономичности, попутно

привели и к радикальному (приблизительно на 20 дБ) сокращению уровня шума, что и было закреплено требованиями Главы 3 тома 1 Приложения 16. Однако для дальнейшего снижения уровня шума авиадвигателей и эмиссии вредных веществ, производителям приходится внедрять новые, все более сложные и дорогостоящие конструктивно-технологические решения, неоднозначные с экономической точки зрения. Например, даже приходится оптимизировать геометрию газовоздушного тракта не по критериям повышения тяги или сокращения расхода топлива, а именно из соображений снижения уровня шума. Дальнейшее снижение уровня вредных выбросов (за исключением $CO_2$, выбросы которого пропорциональны расходу топлива) также противоречит соображениям экономии топлива. Например, при повышении температуры перед турбиной повышается полнота сгорания топлива, но растет и образование окислов азота ($NO_x$), и т.п. На данном этапе развития технологий практически исчерпаны резервы улучшения характеристик авиатехники по Парето, т.е. одновременного улучшения экономических и экологических параметров (и даже требования снижения разных видов экологического воздействия авиации на природу могут вступать в противоречие друг с другом). Дальнейшее повышение экологической чистоты авиатехники практически по любому критерию приводит, как правило, к повышению затрат – как на производство изделий, так и на их эксплуатацию. Поэтому, если с общественной точки зрения будет признано целесообразным дальнейшее улучшение экологических параметров гражданской авиатехники, вероятнее всего, для достижения этой цели потребуется государственное вмешательство.

### *3.2.3. Выбор форм экологического налогообложения в гражданской авиации*

Помимо прямого административного принуждения, стимулирование государством ускоренного обновления парка авиатехники может принимать более мягкие формы. Например, эксплуатация изделий старых поколений может облагаться экологическими налогами. Методический аппарат, предложенный в работе [84], предполагает следующий подход к экономическому обоснованию ставок таких налогов[46]. Они должны обеспечить экономическую заинтересованность эксплуатирующих организаций в досрочном списании старой техники, если такое списание целесообразно с экологической точки зрения. Для этого необходимо при выполнении неравенства (3.12) добиться выполнения следующего неравенства:

$$\left(c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}\right)_{\text{нал}} > \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}}, \qquad (3.16)$$

[46] Здесь рассматривается лишь непосредственное влияние экологического налогообложения на поведение эксплуатирующих организаций. Проблема надлежащего использования собираемых налогов остается за рамками данной работы.

где $\left(c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}\right)_{\text{нал}}$ – разность операционных затрат старого и нового изделий с учетом экологических налогов.

При этом могут применяться различные формы налогообложения:

а) экологические налоги могут взиматься непосредственно с летного часа эксплуатации изделий старого поколения[47] по ставке $\Delta c_{\text{час}}^{\text{стар_экол}}$, исчисляемой в денежных единицах за летный час:

$$\left(c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}\right)_{\text{нал}} = \Delta c_{\text{час}}^{\text{стар_экол}} + c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}; \qquad (3.17)$$

б) экологическими налогами может облагаться потребляемое (как старыми, так и новыми изделиями) авиатопливо по ставке $\Delta p_{\text{ГСМ}}^{\text{экол}}$, исчисляемой в денежных единицах за тонну топлива:

$$\left(c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}\right)_{\text{нал}} = \left(c_{\text{ТОиР}}^{\text{стар}} - c_{\text{ТОиР}}^{\text{нов}}\right) + \left(g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}\right) \cdot \left(p_{\text{ГСМ}} + \Delta p_{\text{ГСМ}}^{\text{экол}}\right); \qquad (3.18)$$

в) налогами могут облагаться сами выбросы $CO_2$ по ставке $\lambda$ денежных единиц за тонну выбросов:

$$\left(c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}\right)_{\text{нал}} = \left(c_{\text{ТОиР}}^{\text{стар}} - c_{\text{ТОиР}}^{\text{нов}}\right) + \left(g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}\right) \cdot \left(p_{\text{ГСМ}} + e_{\text{экспл}} \cdot \lambda\right). \qquad (3.19)$$

Последнюю форму экологического налогообложения предполагается применять во многих отраслях. Фактически, этот принцип положен в основу *Киотского протокола* [139, 140]. Поэтому экономический анализ эффективности данного механизма, стимулирующего повышение экологической чистоты технологий, особенно актуален. Сравнение формул (3.18) и (3.19) показывает, что принцип действия двух последних форм налогообложения одинаков.

Пользуясь формулами (3.17–3.19), можно получить оценки минимального уровня ставок экологических налогов, соответствующих описанным формам налогообложения, при которых они будут действенными (т.е. будет выполняться условие (3.16)):

$$\Delta c_{\text{час}\,\min}^{\text{стар_экол}} = \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} - \left(c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}\right); \qquad (3.20)$$

$$\Delta p_{\text{ГСМ}\,\min}^{\text{экол}} = \frac{1}{g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}}\left[\frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} - \left(c_{\text{ТОиР}}^{\text{стар}} - c_{\text{ТОиР}}^{\text{нов}}\right)\right] - p_{\text{ГСМ}}; \qquad (3.21)$$

$$\lambda_{\min} = \frac{1}{e_{\text{экспл}}}\left\{\frac{1}{\left(g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}\right)} \cdot \left[\frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} - \left(c_{\text{ТОиР}}^{\text{стар}} - c_{\text{ТОиР}}^{\text{нов}}\right)\right] - p_{\text{ГСМ}}\right\} = \frac{\Delta p_{\text{ГСМ}\,\min}^{\text{экол}}}{e_{\text{экспл}}}. \qquad (3.22)$$

Рассмотрим следующий реалистичный пример. Пусть самолеты нынешнего поколения, имеющие значительный остаток ресурса, потребляют в среднем 2,5 тонны авиатоплива на летный час. На рынке появляются воздушные суда нового поколения со следующими характеристиками: $T^{\text{нов}} = 75\,000$ л.ч., $P^{\text{нов}} = 60$ млн долл., $g^{\text{нов}} = 2{,}0$ т/л.ч. Для упрощения рас-

[47] Либо наоборот, может дотироваться приобретение изделий нового поколения.

четов предположим, что затраты на ТОиР изделий старого и нового поколений различаются незначительно. Тогда различие операционных затрат изделий нынешнего и нового поколения вызвано лишь различными значениями расхода топлива. Условие (3.13) выполняется при цене авиатоплива не менее 1 600 долл./т:

$$\frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} = c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}} = \left(g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}\right) \cdot p_{\text{ГСМ}}^{*},$$

$$\Rightarrow p_{\text{ГСМ}}^{*} = \frac{P^{\text{нов}}}{\left(g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}\right) \cdot T^{\text{нов}}} = \frac{60 \text{ млн. долл.}}{0{,}5 \text{ т/л.ч.} \cdot 75\,000 \text{ л.ч.}} = 1\,600 \text{ долл./т}.$$

Если в настоящее время цена авиатоплива ниже этого уровня, авиакомпании будут заинтересованы продолжать эксплуатацию имеющихся воздушных судов до полной выработки ресурса. В то же время, по экологическим соображениям может быть целесообразным их немедленное списание и замена на изделия нового поколения. Даже если принять пессимистическую оценку энергозатрат на производство самолета нового поколения: $G^{\text{нов}} = 12\,000$ т.н.э., и считать, что индексы эмиссии $CO_2$ на этапах производства и эксплуатации совпадают: $\overline{e}_{\text{произв}} = e_{\text{экспл}} = 3{,}125$ т $CO_2$/т.н.э., условие (3.12) выполняется с трехкратным запасом:

$$\overline{e}_{\text{произв}} \frac{G^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} = 3{,}125 \frac{\text{т } CO_2}{\text{т.н.э.}} \cdot \frac{12\,000 \text{ т.н.э.}}{75\,000 \text{ л.ч.}} = 0{,}5 \frac{\text{т } CO_2}{\text{л.ч.}} <$$

$$< e_{\text{экспл}} \cdot \left(g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}\right) = 3{,}125 \frac{\text{т } CO_2}{\text{т.н.э.}} \cdot 0{,}5 \text{ т/л.ч.} = 1{,}5625 \frac{\text{т } CO_2}{\text{л.ч.}}.$$

В данном примере ускоренная замена старого поколения авиатехники на новое позволит сократить выбросы $CO_2$ более чем на 1 т в расчете на летный час, даже с учетом дополнительных выбросов в процессе производства новых изделий. Таким образом, в данном случае государство, руководствуясь соображениями защиты окружающей среды, может прибегнуть к прямому запрету эксплуатации изделий старого поколения, либо ввести экологические налоги.

Какая форма экологического налогообложения, из числа описанных выше, наиболее предпочтительна? Экономисты либерального направления рекомендуют использовать в государственной экономической политике *встроенные регуляторы*, которые, задавая общие для всех экономических агентов правила игры, автоматически обеспечивают желаемые изменения. Этому принципу лучше соответствует налогообложение потребляемого авиатоплива или выбросов $CO_2$. В то же время, непосредственное налогообложение эксплуатации изделий старого поколения, как и прямой запрет на их эксплуатацию, относятся к *дискреционным* мерам. Если при использовании встроенных регуляторов всех экономических агентов помещают в однородную экономическую среду, стимулирующую желательные изменения, то дискреционные

меры избирательны и направлены на конкретных агентов. Высокая селективность, присущая таким мерам, порождает коррупционные риски.

Однако следует принимать во внимание и соображения реализуемости и действенности той или иной политики. Пользуясь формулами (3.20–3.22), оценим минимальный уровень ставок экологических налогов, при котором авиакомпании примут решение о досрочном обновлении парка авиатехники, если текущая цена авиатоплива равна 1 000 долл./т.

Если налогом непосредственно облагается эксплуатация старых изделий, минимально необходимая ставка за летный час составит (см. формулу (3.20))

$$\Delta c_{\text{час min}}^{\text{стар_экол}} = \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} - \left(g^{\text{стар}} - g^{\text{нов}}\right) \cdot p_{\text{ГСМ}} =$$

$$= \frac{60 \text{ млн. долл.}}{75\,000 \text{ л.ч.}} - 0{,}5 \text{ т/л.ч.} \cdot 1\,000 \text{долл./т} = 300 \text{ долл./л.ч.}$$

Если налогом облагается потребляемое авиатопливо, ставка налога фактически должна повысить цену авиатоплива до уровня, при котором авиакомпании добровольно откажутся от эксплуатации авиатехники старого поколения, т.е. до $p_{\text{ГСМ}}^{*}$ (см. формулу (3.21)):

$$\Delta p_{\text{ГСМ min}}^{\text{экол}} = p_{\text{ГСМ}}^{*} - p_{\text{ГСМ}} = 1\,600 \text{ долл./т} - 1\,000 \text{долл./т} = 600 \text{ долл./т}.$$

Если налогами облагаются сами выбросы $CO_2$, минимально необходимая ставка составит (согласно формуле (3.22))

$$\lambda_{\min} = \frac{\Delta p_{\text{ГСМ min}}^{\text{экол}}}{e_{\text{экспл}}} = \frac{600 \text{ долл./т}}{3{,}125 \dfrac{\text{т CO}_2}{\text{т.н.э.}}} = 192 \frac{\text{долл.}}{\text{т CO}_2}.$$

Заметим, что в случае применения двух последних форм налогообложения существенно возрастут затраты на эксплуатацию не только старых, но и новых изделий. Если налог взимается с тонны авиатоплива, стоимость летного часа самолетов нового поколения возрастет, по меньшей мере, на

$$g^{\text{нов}} \Delta p_{\text{ГСМ min}}^{\text{экол}} = 2 \text{ т/л.ч.} \cdot 600 \text{ долл./т} = 1\,200 \text{ долл./л.ч.}$$

При налогообложении выбросов $CO_2$ минимальный (т.е. достигаемый при минимально действенных ставках налогов[48]) прирост эксплуатационных затрат для самолетов нового поколения будет таким же (в силу сходства формул (3.18) и (3.19)):

$$g^{\text{нов}} \cdot e_{\text{экспл}} \cdot \lambda_{\min} = 2 \text{ т/л.ч.} \cdot 3{,}125 \frac{\text{т CO}_2}{\text{т.н.э.}} \cdot 192 \frac{\text{долл.}}{\text{т CO}_2} = 1\,200 \text{ долл./л.ч.}$$

То есть, последствия введения таких налогов эквивалентны последствиям удорожания авиатоплива на 60 %. Такое повышение эксплуатационных затрат (полученное в рамках вполне реалистичного примера) является неприемлемо высоким для авиакомпаний. Подчеркнем, что оно затро-

[48] Меньшие ставки налогов не приведут к желаемому результату, т.е. не обеспечат экономической заинтересованности авиакомпаний в ускоренной замене авиатехники на более экологически чистую.

нет не только авиакомпании, эксплуатирующие старые воздушные суда, но даже авиакомпании, заменившие их на изделия нового поколения. В результате ослабевают стимулы к ускоренному обновлению техники, поскольку достигаемое благодаря нему сокращение эксплуатационных затрат, на фоне существенно возросшего общего уровня затрат, в относительном выражении невелико. Кроме того, столь существенное повышение эксплуатационных затрат подрывает финансовые возможности авиакомпаний, блокируя процессы обновления парка. Эти опасения были бы необоснованными, если бы показатели эмиссии при переходе на новое поколение авиатехники сокращались в несколько раз, и доля экологических налогов в структуре эксплуатационных затрат становилась бы при покупке изделий нового поколения пренебрежимо малой. Однако это возможно лишь при замене чрезвычайно «грязных» в экологическом отношении изделий на существенно более экологически чистые. Кроме того, при многократном сокращении выбросов $CO_2$, вероятнее всего, и расход топлива сокращался бы в несколько раз, что автоматически обеспечивало бы экономическую заинтересованность авиакомпаний в досрочном списании старых изделий. Тогда и необходимость в государственном вмешательстве отпала бы, в полном согласии с гипотезой М. Портера. Однако к настоящему моменту соответствующий этап развития авиационных технологий уже пройден. Как в отношении повышения экономичности, так и в отношении улучшения экологических характеристик авиатехники возможности совершенствования традиционных технологий близки к исчерпанию.

Таким образом, «киотский» механизм управления экологической чистотой авиатехники является либо неэффективным (если неравенство (3.16) не будет выполняться), либо неприемлемым для авиакомпаний. В связи с этим, не случайно то, что гражданская авиация изначально была исключена из перечня отраслей, подпадающих под действие Киотского протокола. Тем не менее, уже в 2009 г. в ЕС был принят закон о введении с 2011 г. торговли квотами на выбросы $CO_2$ гражданскими воздушными судами [114]. Для авиакомпаний, выполняющих директивы ЕС по мониторингу объема выбросов и его поэтапному сокращению, цена предполагается на уровне 14 евро за тонну выбросов, а для нарушителей директив будут установлены штрафы порядка 100 евро за тонну. Сравнение с результатами проведенных выше расчетов показывает, что такой уровень штрафных ставок уже способен заинтересовать авиакомпании в ускоренной замене устаревших воздушных судов на более современные (100 евро и 192 долл. сравнимы по порядку величины), однако «нормальная» цена квоты существенно ниже минимально необходимого уровня, определяемого условием (3.22).

Проведенный анализ показывает, что единственно приемлемым инструментом налогового стимулирования повышения экологической чистоты авиапарка следует признать прямое налогообложение эксплуатации устаревших (в экологическом отношении) изделий, несмотря на недостатки, связанные с дискреционным характером таких мер. Разумеется, описанные

меры государственного регулирования следует вводить исключительно при выполнении условия (3.12), т.е. ускоренная замена авиатехники должна быть оправданной с экологической точки зрения. Кроме того, здесь в качестве критерия экологической чистоты рассматривались удельные выбросы $CO_2$ в расчете на летный час или пассажиро-километр. Именно по данному критерию анализировалась эффективность тех или иных управляющих воздействий государства. Однако, как это ни парадоксально на первый взгляд, глобальный эффект сокращения удельных выбросов может оказаться противоположным ожидаемому, и суммарный объем вредных выбросов может даже возрасти. Подробнее эта проблема изучается в п. 5.3.

**Выводы по главе 3**

1. Оценки, полученные на основе экономико-математических моделей, показывают, что принятие и дальнейшее ужесточение экологических стандартов в развитых странах мира, в принципе, может преследовать не только цели защиты окружающей среды, но и цели упрочения рыночных позиций зарубежных авиастроительных компаний. Наличие вторичного рынка авиатехники в странах бывшего СССР и третьего мира позволяет интенсифицировать процесс ужесточения экологических норм без ущерба для зарубежных авиакомпаний.

2. Активное применение зарубежными компаниями “нерыночных” инструментов конкурентной борьбы на рынках авиаперевозок и авиатехники требует от российского государства адекватных мер для защиты экономических интересов отечественных авиационной промышленности и гражданской авиации.

3. По мере совершенствования техники (в т.ч. авиационной), досрочная замена эксплуатируемых изделий на изделия нового поколения становится целесообразной сначала с точки зрения сокращения выбросов вредных веществ, затем с точки зрения уменьшения энергозатрат, и лишь в последнюю очередь – с точки зрения снижения эксплуатационных расходов. Поэтому для снижения ущерба окружающей среде государству иногда целесообразно стимулировать ускоренное обновление парка авиатехники даже в тех случаях, когда сокращение выбросов сопровождается сокращением эксплуатационных затрат.

4. Если ускоренная замена изделий старого поколения на изделия нового поколения целесообразна с экологической точки зрения, ее можно достичь не только прямым запретом на эксплуатацию старых изделий, но и введением экологических налогов, которые обеспечат экономическую заинтересованность владельцев старых изделий в их досрочном списании. При этом непосредственное налогообложение эксплуатации изделий ста-

рого поколения предпочтительнее налогов на потребление энергоносителей или налогов на выбросы $CO_2$.

# ГЛАВА 4. ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПРОДУКТОВОЙ СТРАТЕГИИ РОССИЙСКОГО ГРАЖДАНСКОГО АВИАСТРОЕНИЯ

В условиях глобализации российская авиационная промышленность неизбежно сталкивается с ожесточенной конкуренцией, как на внешних, так и на внутреннем рынке. Конкурентные позиции российских предприятий на мировом и даже на внутреннем рынке гражданской авиатехники ослаблены настолько существенно, что возникает вопрос о возможности и даже целесообразности сохранения гражданского авиастроения в России. Во избежание финансовых и временны***ы***х потерь, а также окончательного разрушения потенциала российского авиастроения, необходимо решить проблему его *стратегического позиционирования*, ответив на следующие вопросы:

- на какие рынки (только на внутренний, или на глобальный; в каких регионах мира) ориентируется отрасль?
- в каких сегментах рынка гражданской авиатехники предполагается соперничать с зарубежными конкурентами?
- предполагается ли осваивать новые рыночные ниши, и какие именно?

Без ответов на эти вопросы невозможно обоснованное формирование требований к технико-экономическим характеристикам перспективной авиатехники, а также планирование НИОКР.

Структуру рынка пассажирских воздушных судов можно упрощенно представить следующим образом, см. табл. 4.1, составленную на основе прогнозов, регулярно составляемых ведущими мировыми производителями – американской компанией Boeing и западноевропейским консорциумом Airbus Industry [110, 174, 177]. В данной таблице через дробь приведены прогнозы натуральных объемов продаж и выручки в период 2009–2028 гг., опубликованные, соответственно, Boeing и Airbus Industry[49]. В скобках приведены соответствующие доли в % от общей емкости мирового рынка.

*Таблица 4.1*

Сегменты рынка пассажирских самолетов и их прогнозируемая емкость (натуральная и стоимостная) на период 2009–2028 гг.

| | Региональные (50–100 мест) | Магистральные (свыше 100 мест) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Узкофюзеляжные (от 100 до 200 мест) | Широкофюзеляжные (от 200 до 400 мест) | Сверхбольшие (от 400 и более мест) |
| Объем продаж, ед. | 2100 (7 %) | 19 460 (67 %) / 16 997 (71 %) | 6 700 (23 %) / 5 802 (24 %) | 740 (3 %) / 1 318 (5 %) |
| Выручка, млрд долл. | 70 (2 %) | 1 420 (44 %) / 1 276 (44 %) | 1 510 (47 %) / 1 189 (41 %) | 220 (7 %) / 435 (15 %) |

[49] Прогноз емкости рынка региональных самолетов приведен согласно Current Market Outlook компании Boeing; в Global Market Forecast консорциума Airbus Industry прогноз емкости данного сегмента рынка непосредственно не приводится.

Воздушные суда различных классов ориентированы на разные сегменты рынка авиаперевозок. Как правило, региональные пассажирские самолеты обладают сравнительно небольшой дальностью полета (порядка 3 000 км), тогда как дальность полета некоторых типов дальнемагистральных широкофюзеляжных воздушных судов превышает 15 000 км.

Согласно действующей стратегии развития отечественного авиастроения [184], к 2025 г. планируется занять порядка 10 % (в стоимостном выражении) мирового рынка гражданской авиатехники. На данный момент потенциал российских предприятий, даже с учетом государственной поддержки, не позволяет обеспечить конкурентоспособность во всех отраслях и сегментах рынков гражданской авиатехники. Поэтому стратегия не предусматривает конкуренции с зарубежными предприятиями во всех сегментах рынка – напротив, предполагается сконцентрировать ресурсы на немногих приоритетных проектах. В сфере гражданского самолетостроения в настоящее время реализуется (в кооперации с зарубежными компаниями) два основных крупных проекта.

1) Разработан и готовится к серийному производству региональный пассажирский самолет Sukhoi SuperJet 100 (SSJ) пассажировместимостью 75 и 95 мест, создаваемый при участии компаний Boeing (США), Alenia Aeronautica (Италия), и др. Дальность полета – около 3 000 км; может быть увеличена до 4 500 км. Предназначенный для установки на этом самолете авиадвигатель SaM146, обладающий взлетной тягой 6-7 тс, создается в рамках альянса PowerJet французской компанией SNECMA Moteur и российским ОАО “НПО “Сатурн” [187]. Поставки самолетов SSJ авиакомпаниям планируется начать уже в 2010 г. [190].

2) Объединенными силами ОКБ им. А.С. Яковлева, ОКБ им. С.В. Ильюшина и ОКБ имени А.Н.Туполева разрабатывается ближне- и среднемагистральный узкофюзеляжный пассажирский самолет средней вместимости МС-21 (магистральный самолет XXI века), вывод которого на рынок планируется в 2015–2016 гг. [192]. В настоящее время предусмотрено 3 варианта пассажировместимости (в одноклассной компоновке; в скобках указана пассажировместимость при уплотненной компоновке салона):

- МС-21-200 – 150 (162) мест;
- МС-21-300 – 181 (198) мест;
- МС-21-400 – 212 (230) мест.

Дальность полета – до 5 000 км (для модификации МС-21-400 – до 5 500 км). Выбор авиадвигателя предполагается проводить на конкурсной основе. В первую очередь, рассматриваются следующие предложения отечественных предприятий:

- авиадвигатели ПС-12/14 тягой 12-14 тс, принадлежащие к семейству ТРДД тягой 9-18 тс, которое разрабатывается Пермским КБ “Авиадвигатель” [176];

- Д-436Т12 тягой 12 тс, который создается в рамках семейства Д-436 украинским предприятием “Мотор - Сич” в кооперации с рядом российских предприятий, в т.ч. ММПП «Салют» [189].

Также предусмотрена возможность оснащения самолетов МС-21 авиадвигателями ведущих зарубежных компаний.

Характерный объем потребных затрат на разработку и освоение серийного производства новых самолетов и авиадвигателей составляет несколько миллиардов долларов, поэтому для окупаемости проекта, как показано в главе 1, необходимо реализовать, по меньшей мере, несколько сотен или даже тысяч изделий. Так, разработчики семейства самолетов МС-21 прогнозируют объем продаж только на российском рынке в период с 2015 по 2025 г на уровне 230–410 экземпляров, см. [95, 192], а на экспорт в указанный период предполагается поставить до 300 самолетов данного типа (что составляет около 3 % от прогнозируемой компанией Boeing общей потребности авиакомпаний мира в ближне- и среднемагистральных самолетах в период до 2025 г. [177]). Создатели самолета SSJ рассчитывают реализовать в период с 2010 по 2025 г, по меньшей мере, 800–1000 экземпляров (из них более 2/3 – на экспорт), при общей емкости мирового рынка региональных самолетов порядка 6 тысяч единиц. В то же время, следует признать, что прогнозы спроса на эти изделия существенно различаются даже у партнеров по кооперации, не говоря уже о предприятиях-конкурентах, представителях авиакомпаний, экономистах-исследователях. Выполнимы ли планы продаж перспективных российских изделий? Насколько велики риски реализации приоритетных проектов отрасли?

### 4.1. Анализ емкости российского рынка гражданской авиатехники и рисков ее изменения

Российское гражданское авиастроение испытывает в настоящее время трудности с обеспечением конкурентоспособности своей продукции не только на внешних, но и на внутреннем рынке. Поэтому, прежде чем предпринимать любые меры, направленные на повышение открытости отечественной экономики, безусловно, необходимо соотнести возможные выгоды и угрозы. Однако разумная осторожность нередко сменяется изоляционистскими настроениями, как среди работников предприятий отрасли, так и среди руководства предприятий и органов государственного управления. Несмотря на декларации о необходимости выхода на внешние рынки, фактически многие предприятия, вырабатывая перспективную продуктовую политику, ориентируются, прежде всего, на внутренних потребителей. Это подтверждается и фактическим соотношением количества заказов на новые отечественные разработки со стороны российских и зарубежных авиакомпаний. Так, например, по состоянию на 19 мая 2008 г., когда новый российский региональный самолет Sukhoi SuperJet-100 совершил свой пер-

вый полет, поступили заказы на 61 самолет данного типа от отечественных авиакомпаний, и лишь на 12 самолетов – от зарубежных[50] [190].

В силу огромного размера российской территории и слабого развития наземной инфраструктуры на значительной ее части, воздушный транспорт, действительно, играет исключительную роль в жизни нашей страны и развитии отечественной экономики. По этой причине среди работников авиационной промышленности и органов государственного управления весьма распространен следующий стереотип:

*"Российский внутренний рынок авиатехники является чрезвычайно емким, самодостаточным, и отечественным авиастроителям следует ориентироваться, главным образом, на него".*

Безусловно, реализация продуктовой стратегии отечественного авиастроения должна способствовать решению транспортных проблем России. Но достаточно ли емкости внутреннего российского рынка для полноценной загрузки производственного, кадрового, научного потенциала такой отрасли, как авиастроение, или национальная авиационная промышленность обязательно нуждается в глобальном рынке сбыта? Принимая стратегические решения об ориентации отрасли на внутренний или глобальный рынок, необходимо опираться на объективные расчетные оценки, полученные с учетом отраслевой специфики. Необходимо проанализировать самодостаточность российского рынка гражданской авиатехники для устойчивого развития отечественного авиастроения, а также риски, сопряженные с изоляционистской стратегией развития отрасли. Такой анализ был проведен в работе [87] совместно с М.В. Нижник.

### *4.1.1. Прогнозирование объемов продаж гражданской авиатехники на внутреннем российском рынке*

Объем продаж новых отечественных самолетов на внутреннем рынке определяется потребностями российских авиакомпаний на протяжении жизненного цикла изделий данного типа. В последние годы идет активное техническое перевооружение российской гражданской авиации современными воздушными судами за счет закупки зарубежной авиатехники, которое к моменту выхода новых отечественных продуктов на рынок, вероятно, в основном завершится. Если ввод в эксплуатацию перспективного российского среднемагистрального самолета МС-21 запланирован на 2015–2016 гг. (см. [192]), вероятнее всего, российские авиакомпании будут закупать новую авиатехнику лишь для поддержания и расширения провозных мощностей. Поэтому для оценки соответствующего объема продаж достаточно простейшей модели баланса провозных мощностей, описанной в п. 1.3. Воспользуемся следующими условными обозначениями:

[50] В т.ч., 2 самолета заказала авиакомпания «Армавиа» (Армения), и 10 – итальянская авиакомпания ItAli Airlines, чей парк в настоящее время состоит лишь из 8 самолетов.

$m$ – максимальная пассажировместимость воздушных судов данного типа (воздушные суда будем считать однотипными);

$v$ – средняя рейсовая скорость воздушного судна;

$k$ – средний коэффициент заполнения кресел;

$\eta$ – среднегодовой налет на одно воздушное судно в парках отечественных авиакомпаний, летных часов в год (л.ч./г).

Пусть $d(t)$ – пассажирооборот воздушного транспорта в стране в году $t$, (пасс.-км/г). Тогда для удовлетворения текущего спроса на авиаперевозки отечественным авиакомпаниям в году $t$ потребуется следующее количество самолетов:

$$N(t) = \frac{d(t)}{m \cdot v \cdot k \cdot \eta}$$

(разумеется, результат округляется вверх до ближайшего целого числа). Эта формула уже была получена в п. 1.3, см. формулу (1.9).

Рассмотрим следующий реалистичный пример. Пусть $v = 600$ км/ч; $m = 160$ мест (что соответствует наиболее распространенному и в России, и в мире классу воздушных судов – узкофюзеляжным среднемагистральным самолетам); $k = 75\,\%$; $\eta = 3\,000$ л.ч./г (такие значения коэффициента загрузки и среднегодового налета воздушных судов характерны для эффективно работающих авиакомпаний); $d = 100$ млрд.пкм./г (что приблизительно соответствует нынешнему пассажирообороту российской гражданской авиации [185]). Тогда, согласно полученной формуле, $N = 462$. Следовательно, для удовлетворения существующего спроса на авиаперевозки, всей российской гражданской авиации требуется лишь несколько сотен магистральных воздушных судов, эксплуатируемых достаточно интенсивно.

Несмотря на восстановительный рост, по объему авиаперевозок и пассажирообороту гражданской авиации Россия до сих пор многократно уступает развитым странам мира, и даже отдельным крупным зарубежным авиакомпаниям. Так, в США в 2005 г. было перевезено около 700 млн пассажиров [178], причем, только авиакомпания American Airlines перевезла (преимущественно на внутренних линиях) 98 млн пассажиров, т.е. существенно больше, чем вся гражданская авиация России. На рис. 4.1 изображен график изменения пассажирооборота гражданской авиации США на регулярных авиалиниях[51].

Таким образом, нынешняя емкость российских рынков авиаперевозок и гражданской авиатехники мала, по сравнению с зарубежными рынками. Однако, возможно, она имеет значительный потенциал роста в случае увеличения спроса на авиаперевозки в нашей стране? Проверим эту гипотезу с помощью модели БПМ. Пусть $\hat{d}(t)$ – годовой темп роста пассажирооборота,

[51] По данным Федеральной авиационной администрации США, FAA [178].

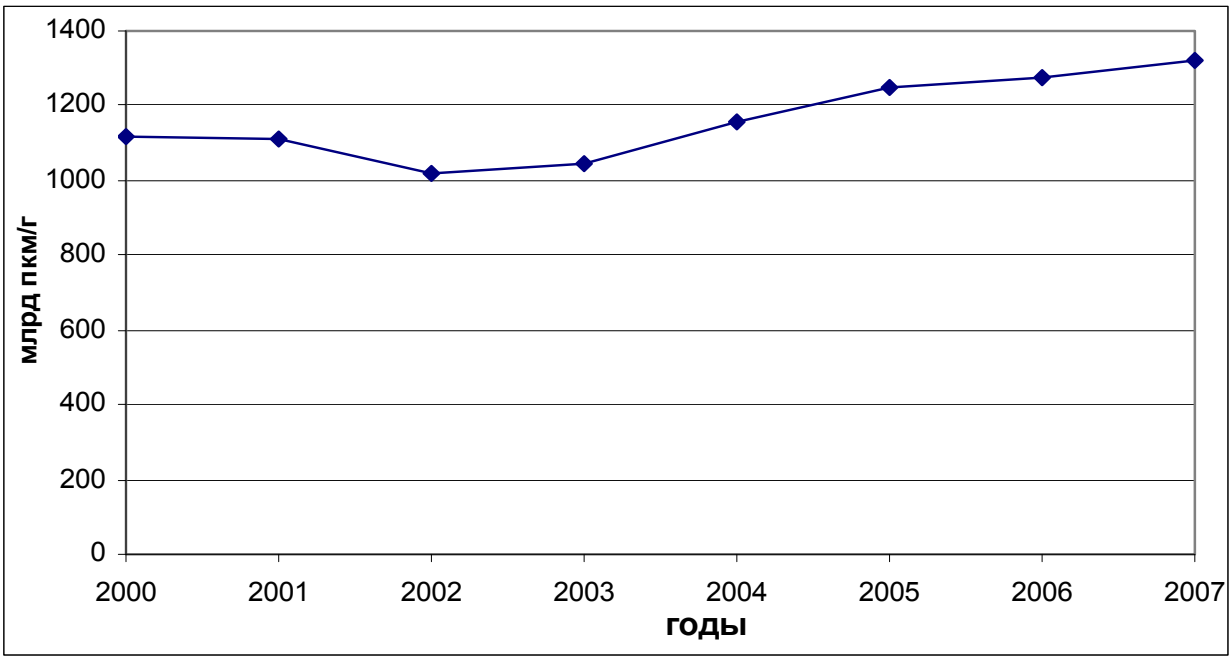


Рис. 4.1. Динамика пассажирооборота гражданской авиации США

ожидаемый авиакомпаниями в году $t$. Предположим, что в стране изначально отсутствовал как дефицит, так и избыток провозных мощностей, и повышение спроса на авиаперевозки непосредственно трансформируется в спрос на новые воздушные суда. Тогда, при неизменной производительности воздушных судов, потребная численность парка должна возрасти в $\left[1+\hat{d}(t)\right]$ раз (предполагается, что $\hat{d}(t)>0$). Т.е. для удовлетворения растущего спроса на авиаперевозки, в году $t$ авиакомпании страны закупят $\left[N(t)\cdot\hat{d}(t)\right]$ воздушных судов. Помимо расширения парка, закупка новых изделий необходима авиакомпаниям и для замены самолетов, выработавших свой ресурс. Если самолеты в парке равномерно распределены по остатку ресурса, ежегодно требуется замена доли $\frac{\eta}{\tau}$ от текущей численности парка, где $\tau$ – ресурс изделия, л.ч. Таким образом, совокупный спрос авиакомпаний страны на новые самолеты в году $t$ определяется формулой (1.18), полученной в п. 1.3:

$$q(t)=\left[\hat{d}(t)+\frac{\eta}{\tau}\right]\cdot N(t).$$

Пусть $T$ – продолжительность периода продаж изделий данного типа. Если в течение этого периода темп роста перевозок $\hat{d}$ будет постоянным, суммарный спрос отечественных авиакомпаний на воздушные суда на протяжении всего жизненного цикла данного типа изделий представляется следующей формулой:

$$Q_{\Sigma}(T)=\sum_{t=1}^{T}q(t)=N(0)\cdot\left(\hat{d}+\frac{\eta}{\tau}\right)\sum_{t=1}^{T}\left(1+\hat{d}\right)^{t}=$$

$$=N(0)\cdot\left(\hat{d}+\frac{\eta}{\tau}\right)\cdot\frac{\left(1+\hat{d}\right)^{T+1}-1}{\hat{d}},\ \hat{d}>0. \qquad (4.1)$$

Если спрос на авиаперевозки на протяжении всего периода моделирования не будет изменяться ($\hat{d}\equiv 0$), тогда потребная численность парка воздушных судов постоянна ($N(t)\equiv N(0)$), и каждый год в течение $T$ лет необходимо лишь заменять долю $\frac{\eta}{\tau}$ от этого количества по причине выработки ресурса, т.е.

$$Q_{\Sigma}(T)=N(0)\cdot\frac{\eta}{\tau}\cdot T,\ \hat{d}=0. \qquad (4.2)$$

На рис. 4.2 изображен график зависимости суммарного объема продаж пассажирских самолетов на российском рынке от среднего темпа роста объема перевозок, полученный в рамках рассмотренного примера при следующих исходных данных: $d(0)=100$ млрд пкм./г; $T=25$ лет (что соответствует характерной продолжительности жизненного цикла гражданских самолетов); $\tau=60\,000$ л.ч.

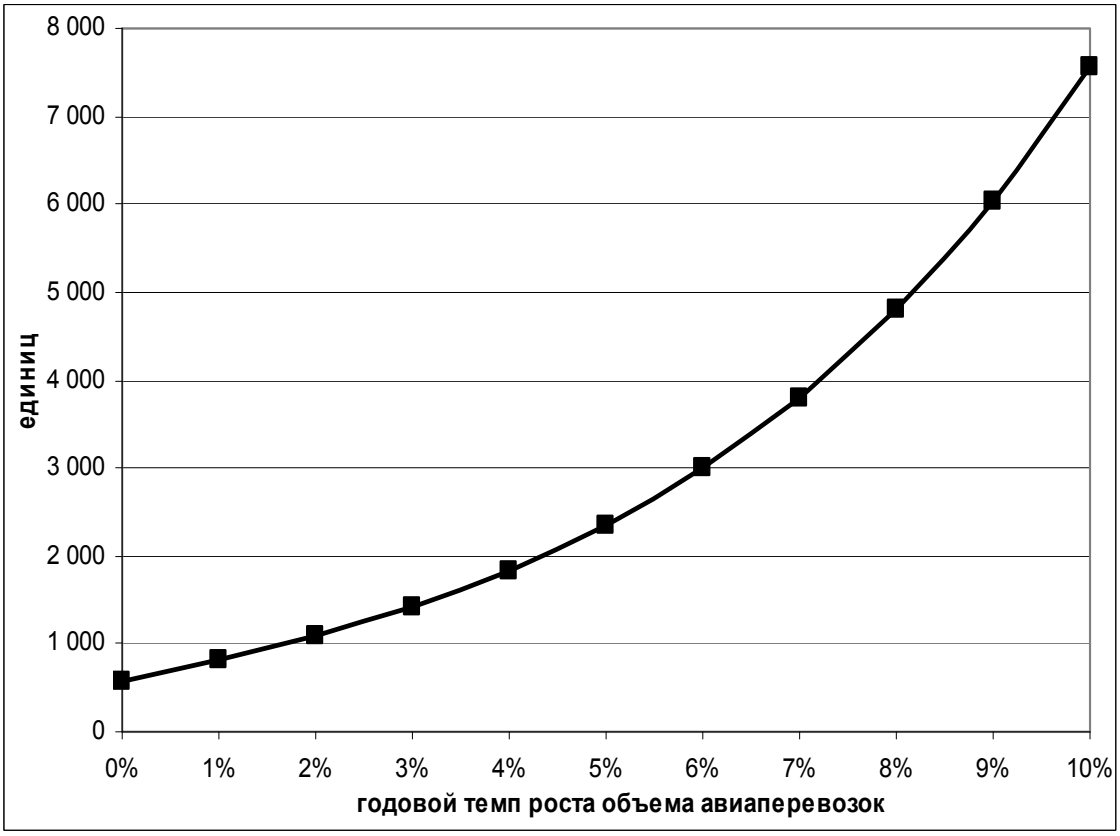


Рис. 4.2. Зависимость суммарного объема продаж самолетов на внутреннем рынке от темпов роста спроса на авиаперевозки

Можно видеть, что суммарный спрос на воздушные суда чрезвычайно сильно зависит от среднего темпа роста пассажирооборота в стране. И если при темпе роста, равном 10 %, за 25 лет на внутреннем рынке будет продано свыше 7 500 пассажирских самолетов данного класса (что превышает накопленные до настоящего времени объемы продаж наиболее распространенных в мире типов гражданских самолетов, таких, как Boeing-737, Airbus A-320 [174, 177]), то при стагнации спроса на авиаперевозки объем продаж не превысит 600 единиц. При этом, если внутренний рынок авиатехники открыт для зарубежных производителей (как в настоящее время), российские авиастроители могут рассчитывать лишь на ту или иную часть вычисленных выше объемов продаж.

Рассмотренный в данном примере максимальный темп роста пассажирооборота, составляющий 10 % в год, соответствует чрезвычайно оптимистическому прогнозу развития российского рынка авиаперевозок. При таком темпе роста за 25 лет спрос на авиаперевозки в нашей стране возрастет более чем на порядок и превысит 1 трлн пассажиро-километров, что сопоставимо с показателями наиболее емкого национального рынка авиаперевозок в мире – рынка США – в начале 2000-х гг. (см. рис. 4.1). Реализация столь оптимистичного сценария маловероятна. Темп роста спроса на авиаперевозки определяется множеством факторов – динамикой изменения социально-экономической ситуации[52], цен на авиатопливо, и т.п. В последние годы пассажирооборот гражданской авиации в России, действительно, возрастал весьма высокими темпами (в среднем, 9,8 % в год в 2000–2006 гг., см. рис. 1.8), однако это лишь восстановительный рост после многократного спада, имевшего место в 1990-е гг. Нет никакой гарантии, что столь же высокие темпы роста сохранятся на протяжении длительного периода, порядка 25 лет.

### *4.1.2. Прогнозирование себестоимости гражданской авиатехники и авиаперевозок в зависимости от темпов развития российского рынка*

В системе «гражданская авиация – авиационная промышленность» действует положительная обратная связь. Как показано выше, если темпы роста внутреннего рынка авиаперевозок будут невелики, спрос на новое поколение воздушных судов также будет низким. Это может привести к их существенному удорожанию, что негативно повлияет на себестоимость авиаперевозок, тарифы, и, в конечном счете – на темпы роста объема перевозок. Оценка значимости описанных факторов может быть проведена с помощью следующей упрощенной модели. Предположим, что при изоляционистской стратегии российской авиапромышленности удастся занять на внутреннем рынке долю $\alpha \le 1$. Таким образом, совокупный объем вы-

[52] Социально-экономические предпосылки повышения емкости российского рынка авиаперевозок обсуждаются в главе 5.

пуска новых отечественных изделий за весь ЖЦИ $Q$ связан с полученным выше суммарным объемом продаж новых самолетов на внутреннем рынке $Q_{\Sigma}(T)$ следующим соотношением:

$$Q = \alpha \cdot Q_{\Sigma}(T). \tag{4.3}$$

Суммарные затраты на производство заданного количества изделий $Q$ можно упрощенно представить следующим образом (см. формулу (1.5) в п. 1.1):

$$TC(Q) = FC + VC(Q),$$

где $FC$ – постоянные затраты на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), на технологическую подготовку производства (ТПП) и на содержание производственных мощностей;

$VC(Q)$ – переменные затраты, включающие в себя, в основном, материальные затраты и затраты на оплату труда:

$$VC(Q) = C^{\text{мат}}(Q) + C^{\text{тр}}(Q)$$

(см. формулу (1.4) в п. 1.1).

Материальные затраты можно считать пропорциональными объему выпуска (см. формулу (1.4) в п. 1.1):

$$C^{\text{мат}}(Q) = c^{\text{мат}} Q,$$

где $c^{\text{мат}}$ – удельные материальные затраты на производство одного самолета, млн долл./ед.

Стоимостные трудозатраты можно представить в виде следующей суммы (см. формулу (1.4) в п. 1.1):

$$C^{\text{тр}}(Q) = \sum_{q=1}^{q=Q} c^{\text{тр}}(q), \ \frac{\partial c^{\text{тр}}}{\partial Q} < 0,$$

где $c^{\text{тр}}(q)$ – удельные стоимостные трудозатраты на производство $q$-й единицы продукции;

$q$ – выпуск, накопленный к данному моменту (с начала серийного выпуска изделий данного типа).

Примем простейшую логарифмическую модель кривой обучения (см. формулу (1.3) в п. 1.1):

$$c^{\text{тр}}(q) = c^{\text{тр1}} \cdot (1-\lambda)^{\log_2 q},$$

где $c^{\text{тр1}}$ – удельные трудозатраты на производство первого экземпляра изделий данного типа;

$\lambda$ – темп обучения.

При больших значениях объема выпуска ($Q \geq 1000$) суммарные трудозатраты можно приближенно оценить следующей аналитической формулой:

$$C^{\text{тр}}(Q) = c^{\text{тр1}} \cdot \sum_{q=1}^{q=Q} (1-\lambda)^{\log_2 q} \approx c^{\text{тр1}} \cdot \frac{Q^{1+\log_2(1-\lambda)}}{1+\log_2(1-\lambda)}. \tag{4.4}$$

Средняя себестоимость одного самолета (т.е. величина средних издержек) определяется следующей формулой (см. формулу (1.6) в п. 1.1):

$$AC = \frac{TC}{Q} = \frac{FC + C^{\text{тр}}(Q)}{Q} + c^{\text{мат}}.$$

Рассмотрим следующий реалистичный пример. Пусть $FC =$ 10 млрд долл. (что соответствует характерной стоимости разработки и подготовки серийного производства пассажирского самолета нового поколения и двигателей к нему); $c^{\text{мат}} = 40$ млн долл./ед.; $c^{\text{тр1}} = 60$ млн долл.; $\lambda = 20\,\%$. На рис. 4.3 изображен полученный с помощью вышеприведенных формул график зависимости средней себестоимости самолета от суммарного объема выпуска, который меняется в диапазоне от 500 до 5 500 единиц.

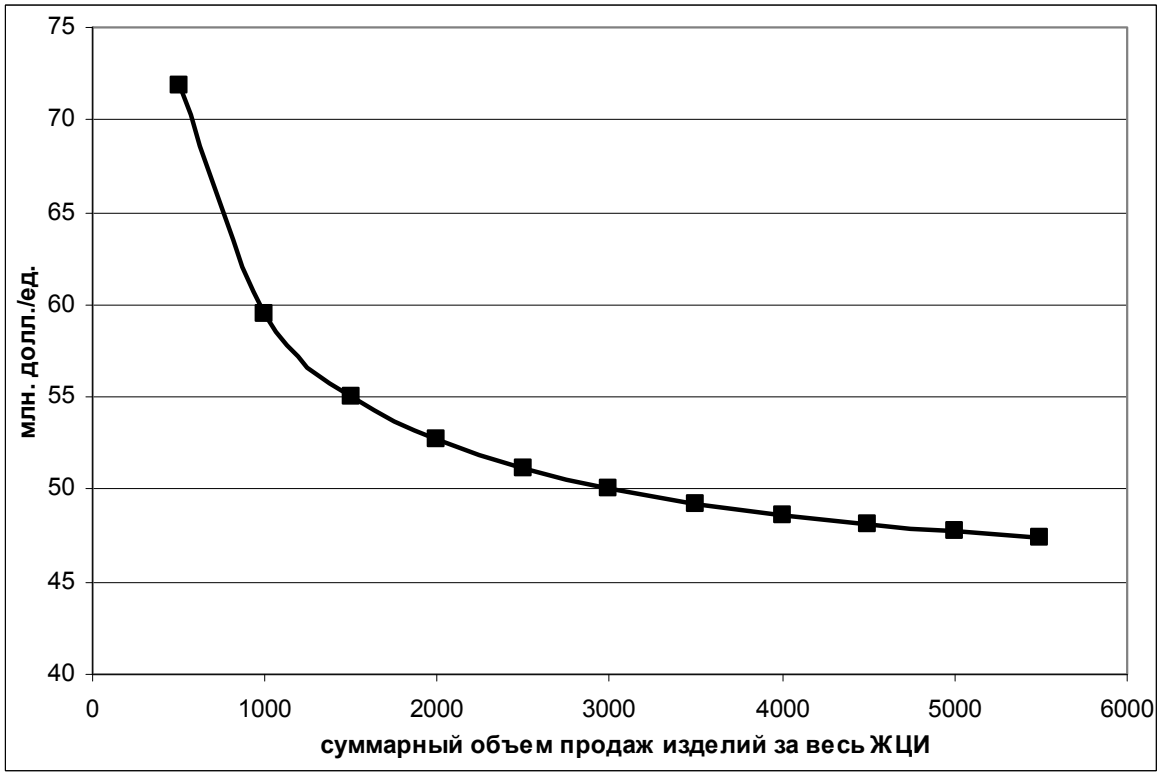


Рис. 4.3. Зависимость средней себестоимости самолетов от суммарного объема продаж за весь жизненный цикл

Как было показано в п. 1.1, средняя себестоимость авиатехники чрезвычайно сильно зависит от суммарного объема ее выпуска. В свою очередь, суммарный объем выпуска самолетов для внутреннего рынка определяется, как было показано выше, темпами роста внутреннего рынка авиаперевозок. Следовательно, основным фактором риска развития отечественного гражданского авиастроения при его ориентации исключительно на внутренний рынок авиатехники является средний темп роста спроса на авиаперевозки в стране (если пренебречь риском сокращения доли отечественных производителей на внутреннем рынке, который также может

быть очень существенным). На рис. 4.4 изображены полученные с использованием вышеприведенных исходных данных графики зависимости средней себестоимости самолетов от среднего темпа роста пассажирооборота, действующего на российском рынке в течение 25 лет. Рассмотрено три значения доли внутреннего рынка, занимаемой российским авиастроением: $\alpha$ = 25 %; 50 %; 100 %. Стратегия развития ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация» предусматривает к 2025 г. достижение доли более 50 % на российском рынке.

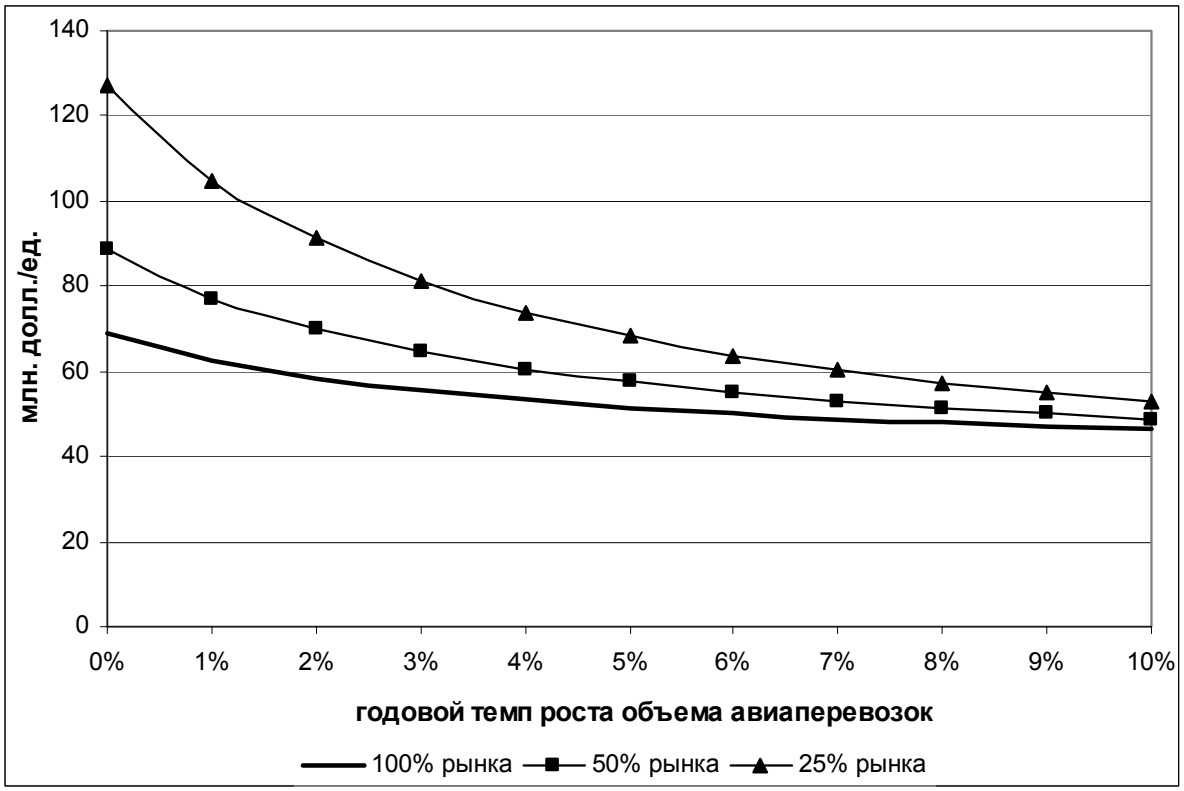


Рис. 4.4. Зависимость средней себестоимости самолетов от среднего темпа роста спроса на авиаперевозки

Как видно из данного (вполне реалистичного) примера, при изменении темпов роста пассажирооборота от 10 % до 0, средняя себестоимость самолетов варьирует в следующих пределах:

- при $\alpha$ = 100 % – от 46 до 69 млн долл., т.е., на 48 %;
- при $\alpha$ = 50 % – от 49 до 89 млн долл., т.е., на 82 %;
- при $\alpha$ = 25 % – от 53 до 127 млн долл., т.е., на 139 %.

При этом наиболее массовые изделия зарубежных производителей – среднемагистральные узкофюзеляжные самолеты Boeing-737 и Airbus A-320 – предлагаются по ценам порядка 50–60 млн долл., в зависимости от комплектации [174, 177]. Следовательно, приемлемый уровень себестоимости самолетов, сопоставимый с ценами массовых изделий глобальных производителей и позволяющий с ними успешно конкурировать, обеспе-

чивается при сохранении темпов роста спроса на авиаперевозки на уровне не менее 4–7% на протяжении всего периода продаж, имеющего длительность 20–30 лет. Таким образом, при изоляционистской стратегии развития отечественного авиастроения велик риск того, что отечественные изделия не выдержат даже ценовой конкуренции с продукцией зарубежных конкурентов, ориентированной на глобальный рынок и выпускаемой в объеме нескольких тысяч.

Но и в тех случаях, когда емкость внутреннего рынка авиатехники значительна (как, например, в США) и позволяет обеспечить низкий уровень себестоимости продукции, национальной авиационной промышленности целесообразно ориентироваться на глобальный рынок сбыта из соображений снижения рисков. Следует учитывать, что, помимо суммарного объема продаж авиатехники за весь жизненный цикл, ее себестоимость (а также прибыль авиастроительных компаний) существенно зависит и от изменений текущего спроса в отдельные годы. Даже временное сокращение выпуска высокотехнологичной продукции, в т.ч., авиатехники, вызывает быструю утрату накопленного опыта («эффект забывания»), угрожающую разрушением потенциала предприятий. Снизить риск спада спроса может диверсификация продаж на рынках различных регионов мира, практикуемая глобальными производителями гражданской авиатехники. Так, например, в 2001 г. на внутреннем рынке США наблюдался значительный спад пассажирооборота и объема перевозок (см. рис. 4.1 и статистические данные [178, 182, 183]), что привело к многократному сокращению спроса американских авиакомпаний на новые самолеты, или даже к полному прекращению закупок новой авиатехники [105]. Тем не менее, этот спад на североамериканском рынке был отчасти компенсирован бурным ростом спроса на перевозки в развивающихся странах Азиатско-Тихоокеанского региона и Ближнего Востока, в результате чего суммарный пассажирооборот мировой гражданской авиации снизился в 2001 г лишь на 3 % [182, 183]. Соответственно, спрос на продукцию американской авиастроительной компании Boeing хотя и сократился значительно, но не упал до нуля, благодаря тому, что данная компания ориентируется на мировой рынок авиатехники, несмотря на огромную емкость внутреннего рынка США, которая, на первый взгляд, позволяет считать его самодостаточным.

### *4.1.3. Анализ эффективности протекционистских мероприятий на внутрироссийском рынке авиатехники*

Как показывают вышеприведенные расчеты, в случае реализации пессимистических сценариев развития внутреннего рынка авиаперевозок, себестоимость отечественных изделий может существенно превышать цену изделий зарубежных конкурентов. Если цены российских самолетов повысятся до уровня, обеспечивающего рентабельность их производства, они станут существенно дороже импортных аналогов. В этом случае доля,

занимаемая отечественными авиастроителями на внутреннем рынке, упадет, что вызовет дальнейшее сокращение выпуска и рост средних издержек. Сохранение национальной авиационной промышленности потребует протекционистских мероприятий, которые обеспечили бы равную экономическую эффективность отечественной и зарубежной авиатехники. Этой цели принципиально возможно достичь двумя способами:

1) снизить эффективность продукции конкурентов, искусственно повысив затраты на ее приобретение и эксплуатацию;

2) повысить эффективность отечественной продукции, искусственно удешевляя для авиакомпаний ее приобретение и эксплуатацию.

Первому варианту соответствуют пошлины на импорт зарубежной авиатехники. Они использовались в России в течение многих лет, и были призваны компенсировать не столько дороговизну отечественных изделий (напротив, авиатехника, произведенная или разработанная в советскую эпоху, существенно дешевле зарубежной), сколько проигрыш в части эксплуатационных затрат. Однако эффективность импортных пошлин в настоящее время низка, поскольку подавляющая доля затрат авиакомпаний приходится именно на этап эксплуатации. Экономия эксплуатационных затрат, в особенности, топливных, при переходе с советской авиатехники на зарубежную существенно превосходит дополнительные затраты на приобретение зарубежных изделий с учетом пошлин (подробнее см. п. 2.1). Здесь рассматривается иная ситуация: считается, что российские воздушные суда нового поколения будут сопоставимы с зарубежными аналогами в части эксплуатационных характеристик, однако могут проигрывать им по цене вследствие малых объемов выпуска[53]. В любом случае, механизм действия импортных пошлин обладает следующим принципиальным недостатком. Для того, чтобы такие пошлины были действенными, они должны повышать затраты отечественных авиакомпаний на приобретение и эксплуатацию зарубежной авиатехники до уровня, соответствующего отечественной авиатехнике – более дорогой или менее эффективной в эксплуатации. Таким образом, даже если российские производители авиатехники будут защищены от конкуренции извне импортными пошлинами или квотами, вследствие дороговизны отечественных самолетов и пошлин на импортные, неизбежно возрастут затраты российских авиакомпаний, себестоимость авиаперевозок и уровень тарифов. Не приведет ли это к необходимости защиты, наряду с внутренним рынком авиатехники, и внутреннего рынка авиаперевозок?

Хотя полученный в расчетах прирост себестоимости изделий является существенным, возможно, его влияние на себестоимость авиаперевозок

[53] Заметим, что, если новые российские самолеты будут обладать не худшими технико-экономическими характеристиками в эксплуатации, по сравнению с зарубежными конкурентами, нет принципиальных экономических препятствий для их массовой продажи на мировом рынке – возможны лишь политические барьеры. В этом случае риск снижения спроса по причине неблагоприятной конъюнктуры на внутреннем российском рынке не будет иметь решающего значения.

будет слабее, поскольку цена авиатехники составляет лишь малую долю общей стоимости жизненного цикла, а гораздо большая доля затрат приходится на этап эксплуатации. Проверим эту гипотезу. Предположим, что эксплуатационные затраты включают в себя, прежде всего, затраты на авиатопливо, затраты на ТОиР и амортизацию воздушных судов. Разумеется, реальная структура эксплуатационных затрат в гражданской авиации существенно сложнее (подробнее см. [46, 100]), однако перечисленные компоненты, определяемые технико-экономическими характеристиками авиатехники, являются основными. Введем следующие условные обозначения:

$g$ – средний расход топлива, т/л.ч.;

$p_{\text{ГСМ}}$ – цена авиатоплива, долл./т;

$c_{\text{ТОиР}}$ – средние расходы на ТОиР в расчете на летный час, долл./л.ч.;

$p$ – цена самолета, млн долл.

Тогда эксплуатационные затраты в расчете на летный час выражаются следующим образом:

$$c_{\text{час}} = g \cdot p_{\text{ГСМ}} + c_{\text{ТОиР}} + \frac{p}{\tau}. \qquad (4.5)$$

Поскольку третье слагаемое в этой сумме – амортизация – зависит от цены воздушного судна, стоимость летного часа зависит от объемов выпуска изделий. Разделив стоимость летного часа на часовую производительность воздушного судна (с учетом неполной загрузки), получим среднюю себестоимость пассажиро-километра:

$$c_{\text{пкм}} = \frac{c_{\text{час}}}{m \cdot v \cdot k}. \qquad (4.6)$$

Стоимости летного часа и пассажиро-километра являются важными интегральными показателями экономической эффективности авиатехники, во многом определяющими уровень тарифов на авиаперевозки и рентабельность работы авиакомпаний. На рис. 4.5 изображен график зависимости средней себестоимости пассажиро-километра от темпа роста спроса на перевозки. В расчетах использованы следующие исходные данные: $g = 2{,}5$ т/л.ч.; $p_{\text{топ}} = 1\,000$ долл./л.ч.; $c_{\text{ТОиР}} = 400$ долл./л.ч. Цена отечественных изделий принималась равной их средней себестоимости: $p = AC$[54]. Как и ранее, рассмотрено три значения доли внутреннего рынка, занимаемой российским авиастроением: $\alpha = 25$ %; 50 %; 100 %.

При изменении темпа роста от 10% до 0, себестоимость перевозок варьирует лишь на 10 % при $\alpha = 100$ %, на 18 % при $\alpha = 50$ % и на 33 % при $\alpha = 25$ %, что существенно меньше полученной выше вариации средней себестоимости самолетов (см. рис. 4.4). Тем не менее, в условиях жесткой

[54] Если цена самолетов будет выше их себестоимости, себестоимость авиаперевозок дополнительно возрастет по сравнению с полученными ниже оценками. Поэтому эти оценки можно считать оптимистическими.

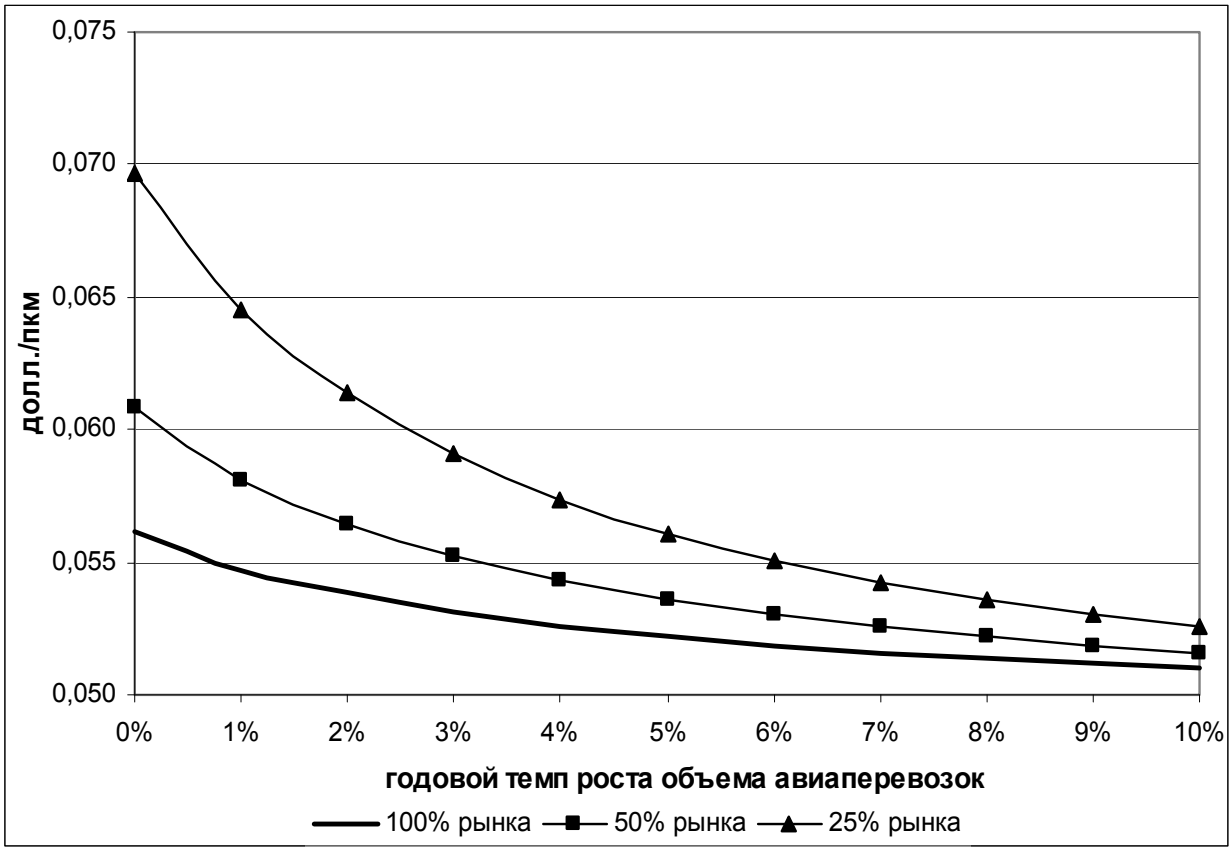


Рис. 4.5. Зависимость себестоимости пассажиро-километра от среднего темпа роста спроса на авиаперевозки

конкуренции на свободном рынке авиаперевозок, даже относительно небольшой проигрыш в себестоимости перевозок отрицательно повлияет на конкурентоспособность российских авиакомпаний. То есть в случае реализации пессимистических сценариев развития рынка авиаперевозок, протекционистские меры потребуются уже не только для защиты авиационной промышленности, но и для защиты отечественной гражданской авиации.

От описанного недостатка, присущего импортным пошлинам, свободны государственные дотации (которые, впрочем, обладают другим очевидным недостатком – они требуют дополнительных бюджетных расходов). В общем случае государство, заинтересованное в поддержании устойчивого развития отечественной авиационной промышленности и гражданской авиации, может дотировать:

- отечественных разработчиков и производителей воздушных судов;
- авиапассажиров, летающих российскими самолетами (что довольно сложно реализовать технически);
- авиакомпании, приобретающие отечественную авиатехнику.

Последний вариант, вероятнее всего, будет малоэффективным. Дотации необходимо выплачивать на протяжении всего периода эксплуатации, и большой риск их прекращения – в том числе и по политическим причи-

нам – может удержать заказчиков от выбора в пользу отечественной авиатехники. Таким образом, наиболее эффективными следует признать дотации производителям авиатехники. Причем, выплачиваться они должны, прежде всего, на предпроизводственных стадиях ЖЦИ, когда (как обосновано в главе 1) разработчики и производители перспективных изделий более всего нуждаются в финансовой поддержке.

Для того, чтобы оценить порядок величины потребных дотаций, а также риск его изменения, рассмотрим следующий пример. Предположим, что дотации призваны, в случае реализации низких объемов спроса на авиатехнику, обеспечить безубыточность работы отечественных авиастроителей. Последние, в свою очередь, обязуются продавать самолеты по фиксированной цене, сравнимой с ценой зарубежных изделий аналогичного класса, что обеспечивает отечественным авиакомпаниям уровень эксплуатационных затрат, сравнимый с затратами авиакомпаний, эксплуатирующих зарубежную авиатехнику, и исключает необходимость введения пошлин или квот на импорт самолетов, а также дотаций авиакомпаниям или пассажирам. На рис. 4.6 изображены графики зависимостей потребного объема дотаций авиастроительным предприятиям от темпа роста спроса на перевозки на внутреннем рынке. Рассмотрено три значения доли внутреннего рынка, занимаемой российским авиастроением: $\alpha$ = 25 %; 50 %; 100 %.

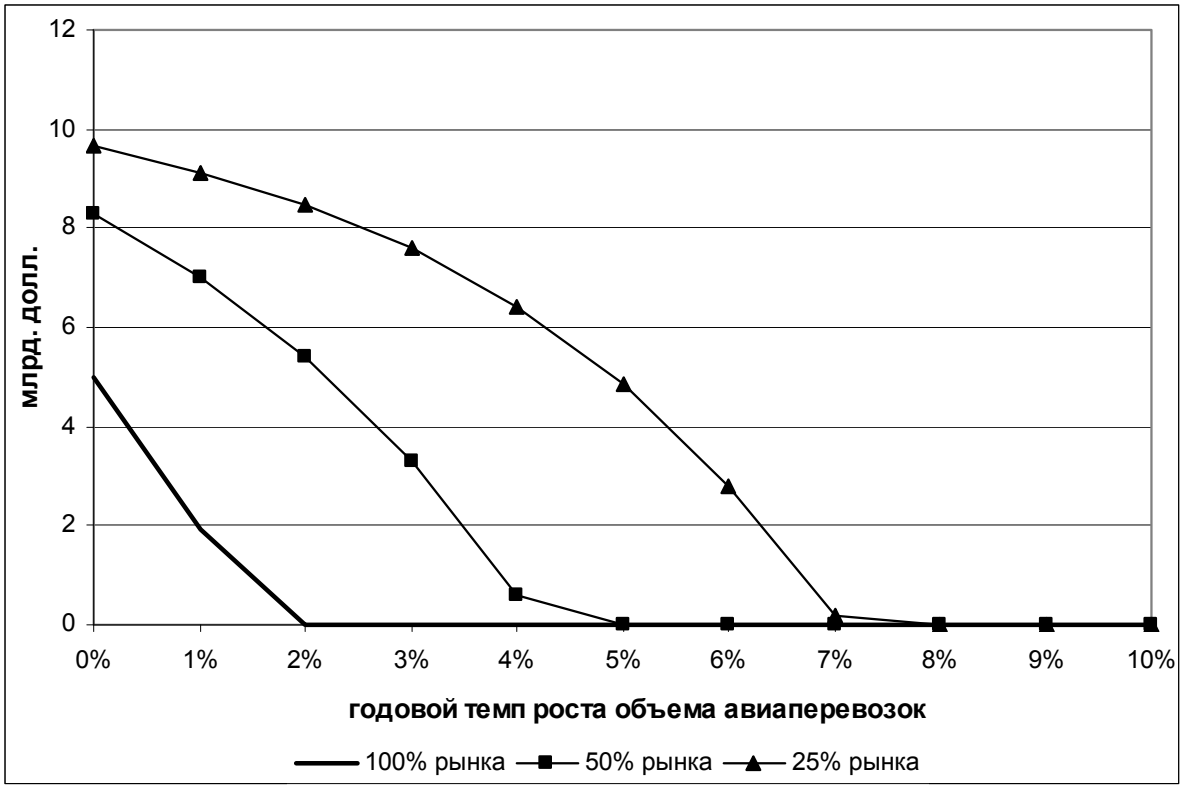


Рис. 4.6. Зависимость потребного объема дотаций авиастроительным предприятиям от темпа роста спроса на авиаперевозки

В расчетах использовались исходные данные рассмотренных выше примеров; фиксированный уровень цены среднемагистрального самолета принят равным 60 млн. долл. При такой цене безубыточность проекта достигается, если удастся продать хотя бы 970 изделий, что, в свою очередь, требует поддержания темпов роста спроса на перевозки на протяжении 25 лет на уровне не менее

- 1,6 % при $\alpha$ = 100 %;
- 4,2 % при $\alpha$ = 50 %;
- 7,1 % при $\alpha$ = 25 %.

Из графиков на рис. 4.6 видно, что даже в случае стагнации спроса на авиаперевозки, потребный объем дотаций не превысит нескольких млрд долл. за 25 лет. Он сопоставим с объемом постоянных затрат на разработку перспективного самолета и технологическую подготовку его производства. Таким образом, государственная поддержка развития национального авиастроения может принимать форму прямого бюджетного финансирования НИОКР и ТПП в обмен на обязательство отечественных авиастроительных компаний при любой конъюнктуре внутреннего рынка продавать свои изделия по фиксированной цене, не превышающей цену импортных аналогов. В развитых странах с рыночной экономикой вместо безвозмездного бюджетного финансирования чаще применяется *государственное гарантирование* кредитов, которые авиастроительные компании вынуждены брать на осуществление НИОКР и ТПП. Кредит предоставляют частные инвесторы, и в случае коммерческого успеха программы, заемщики возвращают его самостоятельно. Но в случае неблагоприятного развития событий сумму долга с процентами возвращает государство, фактически, дотируя авиастроителей в определенных выше объемах.

Вопрос о приемлемости того или иного уровня бюджетных расходов для обеспечения автаркии в сфере гражданского авиастроения остается за пределами данной работы. Тем не менее, даже в том случае, если требуемый объем дотаций или государственных гарантий будет признан незначительным, удовлетворение отечественным авиастроением лишь потребностей внутреннего рынка не отвечает стратегическим интересам российской экономики. Вопреки распространенному стереотипу, гражданское авиастроение необходимо России не столько для того, чтобы удовлетворять потребности российской же гражданской авиации – для этого, как показано в данном разделе, выгоднее[55] импортировать изделия ведущих зарубежных производителей. Авиационная промышленность (в т.ч., ее гражданский сектор) должна стать одним из локомотивов инновационного развития России, одной из главных экспортных отраслей, реализующих конкурентные преимущества отечественных науки и образования.

[55] В то же время, нельзя игнорировать и соображения национальной безопасности, в т.ч. в сфере воздушного транспорта.

## 4.2. Проблемы стратегического позиционирования российского гражданского авиастроения на мировом рынке

Итак, как показано в главе 1, рентабельная работа авиастроительных предприятий возможна лишь при условии обеспечения значительных объемов сбыта – порядка нескольких сотен и даже тысяч единиц за весь жизненный цикл (в зависимости от класса изделий). В то же время, как показывает анализ, проведенный в предыдущем разделе, емкость внутреннего российского рынка гражданской авиатехники в обозримом будущем не гарантирует рентабельных объемов продаж. Таким образом, в современных условиях нет экономически приемлемой альтернативы выходу российского гражданского авиастроения на мировой рынок (это признано и в стратегии развития ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация» [192]). Строго говоря, корректнее говорить не о выходе, а о возвращении отечественного авиастроения на мировой рынок. Советские предприятия успешно экспортировали не только боевую авиатехнику, но и гражданские самолеты, вертолеты и авиадвигатели в десятки стран мира, расположенных на разных континентах. Причем, среди стран-покупателей гражданской авиатехники были не только социалистические страны или страны третьего мира, но и ведущие капиталистические державы – США, Канада, Япония, ФРГ, Италия. Например, в эти страны поставлялись вертолеты Ка-26 и самолеты Як-40, фактически, открывшие новые сегменты рынка авиатехники. Дальнемагистральные авиалайнеры Ту-114 и Ил-62 эксплуатировались на условиях длительной аренды авиакомпаниями Японии, Франции и др., см. [148]. Обеспечивалась эксплуатация поставленных изделий в самых разных природно-климатических зонах. Как сказал генеральный директор запорожского моторостроительного предприятия “Мотор - Сич” В.А. Богуслаев [36], «мы работаем в 104 странах мира и давно знакомы со всеми механизмами рынка. Мы их использовали… и будем использовать дальше». Однако полномасштабное возвращение отечественного авиастроения на мировой рынок гражданской авиатехники – сложная задача, требующая научного обеспечения.

### *4.2.1. Анализ конкурентоспособности перспективной гражданской авиатехники российского производства*

Если планируется выход отечественного авиастроения на мировой рынок, следует быть готовым к тому, что и внутренний российский рынок будет открытым, конкурентным. Фактически он будет частью мирового рынка гражданской авиатехники. Открытость внутреннего рынка порождает значительные риски. Если даже совокупный объем продаж авиатехники весьма нестабилен (как показано в п. 1.3), тем более сложно предсказать объем продаж конкретного производителя на конкурентном рынке. Российское гражданское авиастроение испытало в 1990-х гг. катастрофи-

ческий – почти на два порядка – спад выпуска не потому, что настолько упал совокупный объем продаж гражданской авиатехники в мире, а потому, что доля отечественной продукции на рынке стала пренебрежимо малой, в силу ее низкой конкурентоспособности. Таким образом, в первую очередь необходимо провести анализ конкурентоспособности перспективных российских самолетов, чтобы ответить на вопрос: выполнимы ли в принципе планы отечественных авиастроителей, хотя бы при благоприятной конъюнктуре рынка авиаперевозок?

Конкурентоспособность (подробнее см. [76, 78, 147]) – это возможность продажи продукции на конкурентном рынке в условиях превышения предложения над спросом. Она достигается, если экономическая эффективность продукции выше, чем эффективность продукции конкурентов. В табл. 4.2, составленной по информации производителей и по данным исследования [128], приведены значения технико-экономических показателей перспективного среднемагистрального самолета МС-21. Помимо характеристик МС-21, в таблице приведены данные как продукции зарубежных конкурентов (современных среднемагистральных самолетов Boeing-737 и А-320, выпускаемых, соответственно, американской компанией Boeing и европейским консорциумом Airbus Industry), так и советских самолетов (Як-42Д, Ту-154М), заменяемых новыми изделиями. Рассматривается две модификации МС-21, создаваемые для двух сегментов рынка авиатехники:

- МС-21-100, призванный заменить Як-42 и конкурирующий в сегменте воздушных судов пассажировместимостью 110-130 мест с Boeing-737;
- МС-21-300, призванный заменить Ту-154 и конкурирующий в сегменте воздушных судов пассажировместимостью 150-170 мест с А-320.

Строго говоря, для оценки конкурентоспособности перспективных изделий, которые планируется выводить на рынок через 5...7 лет, проектные параметры МС-21 корректнее сравнивать с параметрами перспективных модификаций самолетов Boeing-737 и А-320 (или преемников этих семейств), которые планируется вывести на рынки в тот же период. Рассматриваемые семейства самолетов А-320 и Boeing-737 вышли на рынки еще в конце 1980-х – начале 1990-х гг., а в настоящее время их производителями прорабатываются варианты глубокой модернизации базовых (весьма удачных) конструкций. Однако за основу можно принять данные тех модификаций, которые представлены на рынке в настоящее время, поскольку именно они будут составлять основу парка авиакомпаний (в т.ч., отечественных).

В табл. 4.2 при расчете часовых затрат на ТОиР и на авиатопливо, средняя стоимость нормо-часа ТОиР принята равной 100 долл./чел.·ч., а средняя цена топлива – 600 долл./т. В данном случае критерием экономической эффективности считается стоимость пассажиро-километра, поскольку рассматриваемые воздушные суда несколько отличаются пассажировместимостью и крейсерской скоростью.

*Таблица 4.2*

Основные технико-экономические характеристики современных и перспективных среднемагистральных самолетов

| Тип самолета | МС-21-100 | В-737-600 | Як-42Д | МС-21-300 | А-320 | Ту-154М | Ту-204-300 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| пассажировместимость, мест | 132 | 123 | 120 | 168 | 164 | 166 | 162 |
| крейсерская скорость, км/ч | 850 | 850 | 700 | 850 | 835 | 820 | 830 |
| цена нового самолета, млн долл. | 26,6 | 50 | 10,4 | 35,1 | 54,4 | 10,5 | 27 |
| назначенный ресурс, л.ч. | 80 000 | 51 000 | 30 000 | 80 000 | 60 000 | 45 000 | 60 000 |
| часовая ставка амортизации, долл./л.ч. | 333 | 980 | 347 | 439 | 907 | 233 | 450 |
| трудоемкость ТОиР, чел.·ч./л.ч. | 3 | 2 | 5 | 3 | 2 | 7 | 4 |
| часовые затраты на ТОиР, долл./л.ч. | 300 | 200 | 500 | 300 | 200 | 700 | 400 |
| средний расход топлива, т/л.ч. | 2,2 | 2,3 | 2,9 | 2,4 | 2,7 | 4,6 | 3,5 |
| часовые затраты на топливо, долл./л.ч. | 1 320 | 1 380 | 1 740 | 1 440 | 1 620 | 2 760 | 2 100 |
| операционные затраты, долл./л.ч. | 1 620 | 1 580 | 2 240 | 1 740 | 1 820 | 3 460 | 2 500 |
| стоимость летного часа, долл./л.ч. | 1 953 | 2 560 | 2 587 | 2 179 | 2 727 | 3 693 | 2 950 |
| стоимость пассажиро-километра, долл./пасс.-км | 0,017 | 0,024 | 0,031 | 0,015 | 0,020 | 0,027 | 0,022 |

Прежде чем анализировать конкурентоспособность перспективной продукции отечественных предприятий, необходимо объяснить, почему в настоящее время вместо устаревшей советской авиатехники массово приобретаются (в т.ч. и на вторичном рынке) зарубежные изделия, а не современные российские гражданские самолеты. Еще к концу 1980-х гг. (т.е. практически одновременно с появлением на рынке самолетов А-320 и модификаций Boeing-737, описанных в табл. 4.2) были разработаны и готовы к запуску в серийное производство вполне современные отечественные изделия – прежде всего, среднемагистральные самолеты семейства Ту-204/214 и дальнемагистральные самолеты семейства Ил-96. В табл. 4.2, помимо характеристик советской авиатехники, современных зарубежных изделий и перспективных отечественных самолетов, также приведены данные самолета Ту-204. Сравнение показывает, что по себестоимости летного часа и пассажиро-километра Ту-204 не уступает современным ему зарубежным аналогам. Аналогичный результат дает сопоставление технико-экономических и экологических характеристик авиадвигателей семейства ПС-90 и их зарубежных аналогов [76], дальнемагистральных самолетов семейства Ил-96 и зарубежных самолетов соответствующего класса [62]. Несмотря на это, фактическая конкурентоспособность российской гражданской авиатехники данного поколения была низкой – главным образом, из-за низкой надежности на ранних стадиях эксплуатации, недостаточно развитой системы сервиса и логистического обеспечения. Следует анализировать эффективность не изделий как таковых (самолетов, авиадвигателей и т.п.), но систем, включающих в себя определенный парк авиатехники, эксплуатируемый в конкретных условиях, а также сервисную и логистическую инфраструктуру. Подробнее проблемы комплексного анализа и обеспечения конкурентоспособности продукции авиастроения освещены в работе [78]. В стратегии развития ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация» [192] вопросам сервисного и логистического обеспечения уделено значительное внимание, поэтому можно рассчитывать, что конкурентоспособность перспективных продуктов отрасли уже не будет снижаться по вышеописанным причинам.

Как показывает анализ проектных значений основных технико-экономических характеристик перспективных гражданских самолетов, новые технологические решения, заложенные в проект МС-21, должны обеспечить относительно низкий уровень операционных затрат. При цене авиатоплива 600 долл./т ожидается снижение стоимости летного часа и пассажиро-километра на 40–50 %, по сравнению с советской авиатехникой старого поколения, и на 20–30 % – по сравнению с современными зарубежными самолетами. На этом основании, разработчиками семейства самолетов МС-21 делается вывод о конкурентоспособности этих перспективных изделий, как на российском, так и на мировом рынках, см. [128, 192]. Однако для осуществления прорыва на новые или утраченные рынки россий-

ской авиапромышленности недостаточно предложить продукт, лишь сравнимый по экономической эффективности с продукцией лидеров мирового авиастроения. В активе зарубежных авиастроительных компаний – тысячи воздушных судов и авиадвигателей, успешно эксплуатируемых во всем мире на протяжении многих лет; авторитет, накопленный благодаря высокому качеству изделий и сервисных услуг. Авиакомпании, эксплуатирующие зарубежную авиатехнику, уже располагают опытом эксплуатации, подготовленным персоналом, налаженными связями с производителями и ремонтными предприятиями, возможно – специализированными средствами их диагностики и обслуживания, и т.п. Как показано в п. 2.1.1, именно эти факторы обусловили некоторую инерцию в процессе замены морально устаревшей советской авиатехники. Они получают определенную экономическую оценку и играют важную роль в принятии решений о закупке авиатехники того или иного производителя. Отечественное гражданское авиастроение, изделия которого составляли в 1980-х гг. до 25 % провозных мощностей мировой гражданской авиации, имело подобные конкурентные преимущества на целом ряде зарубежных рынков, но в настоящее время они практически утрачены.

Таким образом, преимущество новых российских самолетов перед зарубежными аналогами должно быть достаточным, чтобы оправдать отказ авиакомпаний от уже ставшей привычной авиатехники американского или западноевропейского производства. Новые изделия, обладающие таким преимуществом и способные обеспечить прорыв на рынки, занятые конкурентами, называют *прорывными*. Создание прорывного продукта предусмотрено Стратегией развития авиационной промышленности [184]. В настоящее время специалистами отрасли активно обсуждается уровень требований к технико-экономическим показателям прорывного гражданского самолета. На роль прорывного продукта претендует ряд проектов самолетов и авиадвигателей, создаваемых российскими предприятиями – прежде всего, обсуждаемый здесь МС-21. В то же время, и в нормативных документах, и в научной литературе отсутствуют объективные критерии, позволяющие классифицировать новый тип изделий как прорывный. Это приводит к следующим негативным последствиям:

- снижается обоснованность принимаемых на предприятиях стратегических решений относительно перспективного продуктового ряда, и возрастает риск рыночного провала создаваемых продуктов;
- в отсутствие четких представлений о желаемых характеристиках перспективных самолетов и авиадвигателей, снижается эффективность НИОКР;
- усиливается волюнтаризм при определении приоритетов государственной промышленной политики (а каждый такой проект претендует на государственную поддержку в виде прямого субсидирования НИОКР, государственных гарантий по кредитам, налоговых и таможенных льгот, и т.п.).

Целевой уровень операционных затрат, предусмотренный Стратегией развития авиационной промышленности для прорывного продукта, должен быть на 25 % ниже, чем у современных зарубежных самолетов, см. [135, 184]. Разработчики семейства самолетов МС-21 также считают целесообразным сокращение операционных затрат относительно показателей зарубежных аналогов на 20...25 %, см. [192]. К сожалению, в открытом доступе отсутствуют расчеты, обосновывающие именно такой целевой уровень превосходства над конкурентами. Если уровень требований к перспективным продуктам, заложенный в Стратегии, окажется недостаточно обоснованным, ожидания российских авиастроителей относительно входа на новые рынки и возвращения на утраченные рынки могут не оправдаться, несмотря на значительные затраты ресурсов самих предприятий и государства на финансирование «прорывных» проектов. Достаточно ли 25 %-го снижения операционных затрат для того, чтобы новый тип изделий был прорывным?

В п. 2.1.1 был предложен экономический критерий морального устаревания гражданской авиатехники: необходимо, чтобы выигрыш в уровне эксплуатационных затрат при замене старых изделий новыми превышал стоимость приобретения новых изделий (в расчете на летный час или пассажиро-километр), т.е. чтобы выполнялось условие (2.3). В этом случае при появлении нового продукта на рынке ныне эксплуатируемые изделия, независимо от остатка ресурса, будет выгодно немедленно списать и заменить изделиями нового поколения. Такой критерий можно использовать в качестве достаточного условия прорывного превосходства над конкурентами. Однако оно не является необходимым. Вполне возможно, что для осуществления прорыва на новые рынки иногда будет достаточно и меньшего преимущества. По меньшей мере, оно должно оправдывать затраты авиакомпании на смену поставщика авиатехники при замене изделий, выработавших свой ресурс. Введем следующие условные обозначения:

$N$ – численность парка воздушных судов, подлежащих замене;

$C_{\text{тип}}$, $C'_{\text{тип}}$ – единовременные постоянные затраты авиакомпании на освоение эксплуатации, соответственно, нового типа изделий прежнего поставщика и изделий нового поставщика;

$C_{\text{ввод}}$, $C'_{\text{ввод}}$ – соответствующие затраты, приходящиеся на одно изделие.

Как правило, $C'_{\text{тип}} > C_{\text{тип}}$ и $C'_{\text{ввод}} > C_{\text{ввод}}$. В принципе, издержки перехода авиакомпании на перспективные российские изделия могут быть существенно снижены за счет их широкой унификации (по авиадвигателям, составу бортового оборудования и др.) с зарубежными воздушными судами. Впервые в отечественной практике такой подход широко использовался при создании регионального самолета Sukhoi SuperJet.

Для простоты предположим, что ресурс конкурирующих изделий, обозначаемый $T$, одинаков, как и их часовая производительность. Также

будем считать, что среднегодовой налет воздушных судов не зависит от их типа. При замене современных самолетов зарубежного производства, выработавших свой ресурс, или при расширении парка авиакомпания отдаст предпочтение новым российским самолетам, а не новым изделиям прежнего поставщика, при выполнении следующего условия:

$$C_{\text{тип}} + C_{\text{ввод}} \cdot N + N \cdot T \cdot c_{\text{час}} > C'_{\text{тип}} + C'_{\text{ввод}} \cdot N + N \cdot T \cdot c'_{\text{час}},$$

$$\Rightarrow N \cdot T \cdot \left(c_{\text{час}} - c'_{\text{час}}\right) > C'_{\text{тип}} - C_{\text{тип}} + \left(C'_{\text{ввод}} - C_{\text{ввод}}\right) \cdot N,$$

$$\text{или } c_{\text{час}} - c'_{\text{час}} > \frac{C'_{\text{тип}} - C_{\text{тип}}}{N \cdot T} + \frac{C'_{\text{ввод}} - C_{\text{ввод}}}{T}, \qquad (4.7)$$

где $c_{\text{час}}$, $c'_{\text{час}}$ – средние стоимости летного часа новых изделий, соответственно, прежнего и нового поставщиков. В отличие от расчетов, выполненных в п. 2.1.1 для объяснения инерции при замене морально устаревшей авиатехники, в данном случае горизонт планирования авиакомпании считается равным сроку службы воздушного судна. Строго говоря, здесь не учитывается возможное различие затрат, которые придется понести по окончании срока службы выбранного типа воздушных судов и выборе поставщика изделий следующего поколения. Число закупаемых самолетов принято равным численности парка данной авиакомпании, по следующей причине. Как правило, авиакомпании стремятся избегать смешанного состава парка и унифицировать, по крайней мере, воздушные суда одного класса по соображениям экономии на масштабах, упрощения сервиса и обучения персонала, подробнее см. [78]. Так, например, «Аэрофлот» планирует полностью укомплектовать парк дальнемагистральных воздушных судов самолетами семейства Boeing-767, а среднемагистральных – самолетами Airbus A-319/320/321 [173]. Т.е. постепенная замена лишь небольшой доли парка новыми российскими изделиями может оказаться невыгодной. Наиболее благоприятным с точки зрения обеспечения значительных объемов продаж является случай массовой замены всего имеющегося в данной авиакомпании парка зарубежных воздушных судов. В свою очередь, это может произойти либо по причине их морального устаревания (что потребует выполнения весьма жесткого условия (2.3)), либо по причине практически одновременной выработки ресурса. Такие ситуации в принципе возможны, если парк формировался путем одновременной закупки сравнительно крупной партии воздушных судов.

Полученное условие (4.7) можно считать необходимым для того, чтобы новый тип изделий был прорывным с экономической точки зрения. Рассмотрим следующий пример. Пусть численность парка, подлежащего замене, равна 10; ресурс воздушных судов обоих конкурирующих производителей равен 60 000 л.ч.; $C_{\text{тип}}$ = 1 млн долл.; $C'_{\text{тип}}$ = 5 млн долл.; $C_{\text{ввод}}$ = 500 тысяч долл. на одно изделие; $C'_{\text{ввод}}$ = 2,5 млн долл. на одно изделие. Принятые в данном примере значения единовременных затрат, потребных

для перехода на эксплуатацию новых российских самолетов, можно считать пессимистическими. Согласно условию (4.7), выигрыш нового российского самолета должен быть выше следующего порогового значения:

$$c_{\text{час}} - c'_{\text{час}} > \frac{(5-1)\text{ млн долл.}}{10 \cdot 60000\text{ л.ч.}} + \frac{(2{,}5-0{,}5)\text{ млн долл.}}{60000\text{ л.ч.}} = 40\,\frac{\text{долл.}}{\text{л.ч.}}$$

Такой уровень превосходства в части эксплуатационных затрат вполне достижим даже с учетом замедления темпов развития технологий. В то же время, за счет меньшей численности парка в эксплуатации и меньшего накопленного опыта ТОиР, новые российские воздушные суда могут в начале этапа эксплуатации проигрывать зарубежным конкурентам в уровне затрат на ТОиР. Поэтому даже при высокой топливной экономичности перспективных российских самолетов, выполнение условия (4.7) еще отнюдь не гарантировано.

Выполнение достаточного условия (2.3), а также необходимого условия (4.7) можно проверить расчетным путем, что придает понятию «прорывный продукт» объективный экономический смысл. Предлагается называть новые изделия, удовлетворяющие достаточному и необходимому условиям, *прорывными*, соответственно, *в строгом* и *в слабом смысле*.

Необходимо проанализировать, является ли перспективный самолет МС-21 прорывным в строгом смысле? Будут ли авиакомпании, уже эксплуатирующие зарубежные самолеты А-320 и Boeing-737 со значительными остатками ресурса, заинтересованы в их ускоренной замене на новые изделия российской авиапромышленности? Часовые ставки амортизации самолетов МС-21 составляют, в зависимости от модификации, 333...439 долл./л.ч. При этом преимущество МС-21 в операционных затратах перед самолетами А-320 и Boeing-737-600 составляет, в лучшем случае, лишь 80..100 долл./л.ч. Т.е., условие (2.3) не выполняется при тех значениях цен на авиатопливо и ставок оплаты ТОиР, что приняты в табл. 4.2, и даже при гораздо больших значениях этих цен. Таким образом, согласно предлагаемому критерию, самолет МС-21 при нынешних проектных характеристиках не является прорывным продуктом в строгом смысле.

Устареют ли морально современные среднемагистральные самолеты американского и западноевропейского производства при появлении нового отечественного самолета, если он будет обладать 25 % преимуществом в уровне эксплуатационных затрат? Согласно условию (2.3), для этого сокращение операционных затрат при переходе на новый тип воздушных судов должно превышать его часовую ставку амортизации. В противном случае, авиакомпании не будут заинтересованы в ускоренном обновлении парка авиатехники. Характерный уровень операционных затрат зарубежных самолетов изучаемого класса составляет 1 800 долл./л.ч. (при цене авиатоплива 600 долл./т), и их сокращение на 25 % соответствует, приблизительно, 450 долл./л.ч. Следовательно, часовые ставки амортизации пер-

спективных российских самолетов не должны превышать 450 долл./л.ч. На первый взгляд, согласно табл. 4.2, это условие выполняется: часовая ставка амортизации МС-21-300 составляет менее 440 долл./л.ч. Однако необходимо учитывать, что радикальное (на десятки процентов) снижение расхода топлива и трудоемкости ТОиР требует дорогостоящих НИР и ОКР, а также технологического перевооружения российской авиационной промышленности. При этом неизбежно удорожание перспективных российских изделий. Прогнозируемая цена самолетов МС-21, в зависимости от модификации, лежит в диапазоне 26–35 млн долл. В то же время, достоверное прогнозирование цены и себестоимости столь сложного и нового продукта на период 5...10 лет является непростой методической проблемой, тем более, в российских условиях. Есть серьезные опасения, что к моменту вывода этих изделий на рынок их цену не удастся удержать в указанных пределах, и даже в пределах 40 млн долл.[56]. Если уже сегодня цена самолета Ту-204-300, имеющего аналогичную размерность, составляет 27–30 млн долл, широкое использование полимерно-композитных материалов в конструкции планера МС-21[57] неизбежно приведет к его удорожанию. Что касается силовой установки, на Ту-204-300 применяются авиадвигатели ПС-90А производства Пермского моторного завода. Их цена возросла с 2...2,5 млн долл. в 2001 г до 4 млн долл. к началу 2006 г. Разумеется, при этом конструкция двигателя совершенствовалась, повышались качество изготовления и надежность, развивалась система послепродажного обслуживания. Однако в настоящее время ПС-90А уже приближается по цене к зарубежным аналогам (авиадвигатели RB211-535E4 британской компании Rolls-Royce и PW2040 американской компании Pratt & Whitney предлагаются по ценам 6..8 млн долл.), все еще уступая им в надежности и качестве сервисных услуг. Таким образом, при создании семейства авиадвигателей пятого поколения ПС-12/14, предназначенного, в т.ч., для установки на МС-21, Пермскому КБ “Авиадвигатель” необходимо добиться роста качества изделий, опережающего рост цены. В противном случае, под сомнением окажется не только «прорывный» статус новых изделий, но даже их конкурентоспособность.

Вообще, как показано в п. 2.1, по объективным причинам создание прорывных в строгом смысле типов гражданской авиатехники становится практически невозможным в рамках традиционных технологий, как для российских, так и для зарубежных авиастроителей. Разумеется, это ни в коем случае не означает, что новые изделия российского авиастроения лишены рыночных перспектив. Согласно проектным данным, приведенным в табл. 4.2, существенно меньшие, по сравнению с зарубежными аналогами, часовые ставки амортизации, на фоне сравнимого или даже более низкого уровня операционных издержек, обеспечивают МС-21 более низкий уро-

[56] Эта величина получена в работе [127] как верхний предел цены самолета МС-21-300, обеспечивающий ему равную экономическую эффективность с ныне выпускаемым в России самолетом Ту-204-300.
[57] Планируется, что доля ПКМ в массе конструкции МС-21 составит около 37 % [192].

вень суммарных эксплуатационных затрат. Поэтому условие (4.7) с большой вероятностью будет выполняться, и при выборе новой авиатехники взамен А-320 и Boeing-737 авиакомпании могут отдать предпочтение перспективному российскому самолету, при условии, что зарубежные конкуренты не предложат к началу выпуска МС-21 еще более эффективные воздушные суда. В то же время, основным конкурентным преимуществом, заложенным в проектные параметры МС-21, считается низкая цена, а показатели расхода топлива лишь незначительно ниже, чем у зарубежных конкурентов, или находятся на том же уровне. Однако надежды на завоевание рынков за счет дешевизны российской авиатехники могут не оправдаться по следующим причинам:

1) В структуре затрат авиакомпаний доля затрат на приобретение авиатехники существенно меньше доли затрат на этапе эксплуатации (см. табл. 4.2). Поэтому снижение цены новых изделий играет гораздо меньшую роль в обеспечении экономической эффективности авиатехники, чем сокращение затрат на топливо и ТОиР.

2) Разрушение кооперационных связей, деградация многих предприятий-поставщиков комплектующих изделий уже приводят к тому, что новые российские самолеты и авиадвигатели незначительно дешевле американских или западноевропейских. Кроме того, стремительно развивается авиационная промышленность Китая и Индии, для которых характерны более низкие ставки оплаты труда, по сравнению с Россией.

Таким образом, считать дешевизну продукции долговременным конкурентным преимуществом российской авиапромышленности уже не представляется возможным. Признание этого факта отражено и в стратегии развития ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация» [192].

### *4.2.2. Модель стратегического позиционирования российской авиационной промышленности на мировом рынке*

На рынке магистральных самолетов (как большой, так и средней вместимости) в настоящее время утвердилась дуополия американской компании Boeing и западноевропейского консорциума Airbus Industry. В обозримом будущем стратегия развития отечественной авиапромышленности не предусматривает выхода на рынки магистральных самолетов большой вместимости и дальности, поскольку на данном этапе развития технологий зарубежные конкуренты обладают подавляющим преимуществом в этом сегменте. Однако в сегменте ближне- и среднемагистральных узкофюзеляжных самолетов планируется составить конкуренцию лидерам мирового авиастроения, предложив авиакомпаниям семейство самолетов МС-21. Еще раньше предполагается выход на рынки региональных пассажирских самолетов SSJ. Насколько оправдана с экономической точки зрения, и с какими рисками сопряжена ориентация отрасли на тот или иной сегмент рынка авиатехники? Для ответа на эти вопросы предлагается сле-

дующая упрощенная модель, разработанная совместно с А.Л. Русановой [91]. Представим конкуренцию отечественной авиапромышленности с зарубежной в виде игры двух участников с непротивоположными интересами (биматричной игры). Игроками являются отечественная авиапромышленность и зарубежное авиастроение. Разумеется, это сильно упрощенное представление мирового рынка авиатехники. Во-первых, зарубежное авиастроение отнюдь не является монолитным – между ведущими зарубежными производителями воздушных судов наблюдается чрезвычайно жесткая конкуренция[58]. Во-вторых, современная авиационная промышленность представляет собой глобальную сетевую структуру, включающую в себя тысячи специализированных поставщиков различных комплектующих изделий и производственных услуг, расположенных по всему миру, в т.ч., и в России. Отечественные предприятия активно включаются в процессы глобализации (не только в качестве поставщиков комплектующих изделий, но и в качестве системных интеграторов). В сетевых структурах возникают новые формы взаимодействия предприятий, отличные как от конкуренции, так и от кооперации (в работе [70] их предлагается называть *коокуренцией* и *конкооперацией*) – например, когда один и тот же специализированный поставщик снабжает комплектующими изделиями производителей конкурирующих финальных изделий. Следовательно, жесткая дихотомия «отечественная промышленность – зарубежная промышленность» в современных условиях не вполне корректна. Тем не менее, технологическая самостоятельность страны в сфере авиастроения определяется, в первую очередь, способностью выступать в качестве системного интегратора проекта. Поэтому в данной модели рассматривается именно конкуренция производителей финальных изделий – воздушных судов.

Стратегии в данной игре представляют собой набор сегментов рынка, в которых работают игроки. Структура мировых рынков авиатехники весьма сложна. Как показано в табл. 4.1, даже рынок магистральных пассажирских самолетов не является однородным – относящиеся к нему типы воздушных судов различаются в несколько раз по максимальной пассажировместимости и дальности полета, а, следовательно, по цене, объемам продаж и параметрам себестоимости. Тем не менее, для упрощения анализа можно разделить мировой рынок гражданской авиатехники на два сегмента, обозначаемые далее 1 и 2. В качестве сегмента 2 будем рассматривать целевой сегмент рынка, избранный российской авиапромышленностью. В проектах стратегии развития отрасли предполагается, что он будет достаточно узким – например, рынок региональных пассажирских самолетов, узкофюзеляжных самолетов, тяжелых транспортных самолетов, и т.п. Под сегментом 1 будем подразумевать все остальные сегменты рынка гражданской авиатехники. В зависимости от выбора сегмента 2, состав и ха-

[58] Что касается отечественной авиапромышленности, можно считать, что интересы отдельных предприятий будут согласованы в рамках ОАК.

рактеристики сегмента 1 будут различными. Например, если в качестве целевого сегмента 2 российским авиастроением избран рынок региональных пассажирских самолетов, то сегмент 1 – это агрегированный рынок магистральных самолетов; если сегмент 2, помимо региональных самолетов, будет включать в себя рынок узкофюзеляжных самолетов, то сегмент 1 – это агрегированный рынок широкофюзеляжных самолетов и самолетов сверхбольшой вместимости, и т.д. Натуральные и стоимостные параметры агрегированных сегментов рынка предполагается вычислять на основе данных табл. 4.1 как суммарные или средневзвешенные (по объемам продаж отдельных классов изделий) параметры отдельных сегментов.

У каждой стороны в данной игре есть три возможные стратегии:

- работать только в сегменте 1;
- работать только в сегменте 2;
- работать одновременно в обоих сегментах рынка.

Предположим, что игроки выбирают свои стратегии одновременно в начальный момент игры. Целевыми функциями игроков будем считать ожидаемые значения прибыли[59]. Введем следующие условные обозначения:

$I$ – индекс игрока, принимающий значения $A$ и $B$, что соответствует зарубежной и отечественной авиационной промышленности;

$i$ – индекс сегмента рынка, принимающий значения 1 и 2;

$\delta_{I,i}$ – индикатор, принимающий значение 1, если $I$-й игрок выходит на рынок в $i$-м сегменте, и 0, если не выходит;

$N_i$ – длительность ЖЦИ продукта $i$-го сегмента, лет;

$T^0_{I,i}$ – время выхода $I$-го игрока на рынок в $i$-м сегменте;

$T^{\text{р}}_{I,i} = N_i - T^0_{I,i}$ – суммарное время работы $I$-го игрока в $i$-м сегменте рынка.

Если $I$-й игрок вообще не выходит на рынок в $i$-м сегменте ($\delta_{I,i} = 0$), то можно считать, что $T^0_{I,i} = N_i$, и, соответственно, $T^{\text{р}}_{I,i} = 0$.

Если $I$-й игрок выходит на рынок в $i$-м сегменте раньше $J$-го игрока, в течение времени $T^{\text{м}}_{I,i} = T^0_{J,i} - T^0_{I,i}$ он не имеет конкурентов в данном сегменте, т.е. является монополистом. В общем случае,

$$T^{\text{м}}_{I,i} = \max\left\{T^0_{J,i} - T^0_{I,i}; 0\right\};\ I = A,B;\ i = 1,2. \qquad (4.8)$$

Оба игрока конкурируют в $i$-м сегменте рынка в течение следующего периода:

$$T^{\text{к}}_i = N_i - \max_I T^0_{I,i};\ I = A,B;\ i = 1,2. \qquad (4.9)$$

---

[59] В силу большой длительности реализации проектов в авиастроении – порядка нескольких десятилетий – первостепенное значение приобретает фактор временн***о***й стоимости денег. Поэтому в практических расчетах более обосновано использование в качестве целевой функции чистой текущей стоимости (Net Present Value, NPV, см. [31]) портфеля проектов авиастроительной компании.

Обозначим цены изделий в $i$-м сегменте рынка в период монопольного присутствия игрока-лидера и в период конкуренции обоих игроков, соответственно, $p_i^{\text{м}}$ и $p_i^{\text{к}}$, млн долл./ед. (предполагается, что продукция конкурирующих поставщиков однородна и продается по единой цене). Этим ценам соответствуют следующие значения совокупного объема продаж: $q_i^{\text{м}}$ и $q_i^{\text{к}}$, ед./г. Вероятнее всего, $p_i^{\text{к}} < p_i^{\text{м}}$, а $q_i^{\text{к}} > q_i^{\text{м}}$.

Предположим, что в период конкурентной борьбы $I$-му игроку удалось занять долю $\alpha_{I,i}$ в $i$-м сегменте рынка. Разумеется, эти доли удовлетворяют следующим условиям:

$$\alpha_{I,i} \in [0,1];\ \alpha_{A,i} + \alpha_{B,i} \equiv 1;\ I = A,B;\ i = 1,2.$$

Разумеется, если $\delta_{I,i} = 0$, $\Rightarrow \alpha_{I,i} \equiv 0$, $I = A,B$; $i = 1,2$.

Суммарный объем выпуска $I$-го игрока в $i$-м сегменте рынка в монопольных и в конкурентных условиях можно выразить следующим образом:

$$Q_{I,i}^{\text{м}} = q_i^{\text{м}} \cdot T_{I,i}^{\text{м}};\ Q_{I,i}^{\text{к}} = \alpha_{I,i} \cdot q_i^{\text{к}} \cdot T_{I,i}^{\text{к}};\ I = A,B;\ i = 1,2. \quad (4.10, 4.11)$$

Суммарный объем выпуска $I$-го игрока в $i$-м сегменте рынка за весь ЖЦИ определяется следующим образом:

$$Q_{I,i}^{\Sigma} = Q_{I,i}^{\text{м}} + Q_{I,i}^{\text{к}};\ I = A,B;\ i = 1,2. \quad (4.12)$$

Суммарная выручка $I$-го игрока (в млрд долл.) выражается следующей формулой:

$$R_I^{\Sigma} = \frac{1}{1000} \sum_i \left[ p_i^{\text{м}} \cdot Q_{I,i}^{\text{м}} + p_i^{\text{к}} \cdot Q_{I,i}^{\text{к}} \right];\ I = A,B;\ i = 1,2. \quad (4.13)$$

Цены считаются здесь фиксированными экзогенными величинами, т.е. задаются извне. Это упрощающее допущение отчасти оправдано тем, что предполагаемая доля российского авиастроения на мировом будет мала, и возвращение этого игрока на рынок рынке гражданской авиатехники слабо повлияет на сложившиеся цены. В более корректных моделях олигополистических рынков (см., например, [26, 155]) цены рассматриваются как эндогенные величины, т.е. определяются непосредственно в модели.

В данной модели приняты следующие предположения о функциях затрат производителей. Постоянные затраты связаны, прежде всего, с НИОКР и ТПП. Часть постоянных затрат, в силу конструктивной и технологической общности изделий обоих сегментов, является *общей*, и не зависит от того, в каких сегментах рынка работает данный производитель. Другая же часть постоянных затрат является *специфической*, и связана с разработкой и ТПП продукции в конкретных сегментах рынка. Наличие общей составляющей постоянных затрат означает, что при работе одновременно в обоих сегментах рынка постоянные затраты производителя могут быть ниже суммы постоянных затрат при работе только в сегменте 1 и только в сегменте 2. Обозначим:

$FC_I^{\text{общ}}$ – общие постоянные затраты $I$-го игрока, млрд долл.; $I = A,B$;

$FC_{I,i}^{\text{спец}}$ – специфические постоянные затраты $I$-го игрока в $i$-м сегменте рынка, млрд долл.; $I = A,B$; $i = 1,2$.

Тогда суммарные постоянные затраты $I$-го игрока выражаются следующей формулой:

$$FC_I^{\Sigma} = FC_I^{\text{общ}} + \sum_i \left[ \delta_{I,i} \cdot FC_{I,i}^{\text{спец}} \right],\ I = A,B;\ i = 1,2, \qquad (4.14)$$

где $\delta_{I,i}$ – индикатор, принимающий значение 1, если $I$-й игрок выходит на рынок в $i$-м сегменте, и 0, если не выходит.

Переменные затраты в данной модели складываются из материальных затрат и затрат на оплату труда. Материальные затраты можно приближенно считать пропорциональными объему выпуска. Пусть $c_{I,i}^{\text{мат}}$ – удельные материальные затраты $I$-го производителя на единицу продукции в $i$-м сегменте, млн долл./ед. Тогда материальные затраты данного производителя в этом сегменте можно выразить следующим образом (в млрд долл.):

$$C_{I,i}^{\text{мат}} = \frac{1}{1000} \cdot c_{I,i}^{\text{мат}} \cdot Q_{I,i}^{\Sigma};\ I = A,B;\ i = 1,2. \qquad (4.15)$$

Затраты на оплату труда оценим с учетом эффекта обучения, предполагая простейший логарифмический вид кривой обучения (см. п. 1.1). Обозначим $c_{I,i}^{\text{тр1}}$ – удельные трудовые затраты $I$-го производителя на первый экземпляр продукции в $i$-м сегменте, млн долл./ед. Тогда суммарные затраты $I$-го производителя (в млрд долл.) на оплату труда в $i$-м сегменте можно выразить следующей формулой:

$$C_{I,i}^{\text{тр}} = \frac{1}{1000} \cdot c_{I,i}^{\text{тр1}} \cdot \sum_{q=1}^{q=Q_{I,i}^{\Sigma}} (1-\lambda)^{\log_2 q};\ I = A,B;\ i = 1,2. \qquad (4.16)$$

Для упрощения вычислений при больших объемах выпуска ($Q_{I,i}^{\Sigma} \geq 1000$) может использоваться приближенная аналитическая формула (4.4), полученная в п. 4.1:

$$\sum_{q=1}^{q=Q_{I,i}^{\Sigma}} (1-\lambda)^{\log_2 q} \approx \frac{\left(Q_{I,i}^{\Sigma}\right)^{1+\log_2(1-\lambda)}}{1+\log_2(1-\lambda)}. \qquad (4.17)$$

Суммарные переменные затраты $I$-го производителя (в млрд долл.) можно представить следующим образом:

$$VC_I^{\Sigma} = \sum_i \left[ C_{I,i}^{\text{мат}} + C_{I,i}^{\text{тр}} \right] =$$

$$= \frac{1}{1000} \cdot \sum_i \left[ c_{I,i}^{\text{мат}} \cdot Q_{I,i}^{\Sigma} + c_{I,i}^{\text{тр1}} \cdot \sum_{q=1}^{q=Q_{I,i}^{\Sigma}} (1-\lambda)^{\log_2 q} \right];\ I = A,B;\ i = 1,2. \qquad (4.18)$$

Общие затраты $I$-го производителя складываются из его постоянных и переменных затрат:

$$TC_I^{\Sigma} = FC_I^{\Sigma} + VC_I^{\Sigma},\ I = A, B. \tag{4.19}$$

Общая прибыль $I$-го производителя за весь период моделирования (в млрд долл.) выражается следующей формулой:

$$\Pi_I^{\Sigma} = R_I^{\Sigma} - TC_I^{\Sigma},\ I = A, B. \tag{4.20}$$

Платежные матрицы игроков A и B имеют следующий вид:

$$\begin{array}{ccc} & \delta_{B,1}=1; & \delta_{B,1}=0; \quad \delta_{B,1}=1; \\ & \delta_{B,2}=0 & \delta_{B,2}=1 \quad \delta_{B,2}=1 \\ \delta_{A,1}=1;\ \delta_{A,2}=0 & \multicolumn{2}{c}{\multirow{3}{*}{$\left(\begin{array}{cc} & \\ \Pi_A^{\Sigma};\Pi_B^{\Sigma} & \\ & \end{array}\right)$}} \\ \delta_{A,1}=0;\ \delta_{A,2}=1 & & \\ \delta_{A,1}=1;\ \delta_{A,2}=1 & & \end{array}$$

После вычисления элементов этих платежных матриц необходимо найти *равновесия Нэша* (см. [147]), т.е. такие сочетания стратегий, от которых игрокам невыгодно отклоняться в одностороннем порядке. В случае наличия нескольких равновесий, исключаются равновесия, доминируемые по Парето.

Обозначим возможные равновесия следующим образом, см. рис. 4.7.

$$\begin{array}{ccc} & \delta_{B,1}=1; & \delta_{B,1}=0; \quad \delta_{B,1}=1; \\ & \delta_{B,2}=0 & \delta_{B,2}=1 \quad \delta_{B,2}=1 \\ \delta_{A,1}=1;\ \delta_{A,2}=0 & \multicolumn{2}{c}{\multirow{3}{*}{$\left(\begin{array}{ccc} \text{I} & \text{II} & \text{III} \\ \text{IV} & \text{V} & \text{VI} \\ \text{VII} & \text{VIII} & \text{IX} \end{array}\right)$}} \\ \delta_{A,1}=0;\ \delta_{A,2}=1 & & \\ \delta_{A,1}=1;\ \delta_{A,2}=1 & & \end{array}$$

Рис. 4.7. Нумерация возможных равновесий в биматричной игре

Можно заметить, что равновесия I, III, V–IX соответствуют прямой конкуренции отечественной и зарубежной промышленности в одном или в обоих сегментах рынка. Два оставшихся сочетания стратегий – II и IV – означают, что игроки полностью избежали прямой конкуренции, работая в разных рыночных нишах.

### *4.2.3. Анализ эффективности альтернативных стратегий развития отрасли и рисков их реализации*

С помощью предложенной модели можно проанализировать возможные варианты поведения зарубежных конкурентов в различных сегментах рынка и выбрать оптимальную стратегию рыночного позиционирования российской промышленности. В реальности, разумеется, эти задачи придется решать при значительной неопределенности исходных параметров. Как показано в п. 1.3, даже при относительно слабых колебаниях пассажирооборота существует риск значительного изменения совокупного

спроса на новые воздушные суда различных классов $\{q_i\}$. В свою очередь, даже относительно малые колебания суммарного объема продаж и параметров себестоимости авиатехники могут оказывать критическое воздействие на финансовые показатели работы авиастроительных компаний, см. п. 1.1. Неопределенность будущих объемов продаж является основным фактором риска, который необходимо учитывать при разработке стратегии развития отрасли. Даже при условии обеспечения конкурентоспособности перспективной отечественной продукции, распределение суммарных объемов продаж между конкурирующими производителями остается чрезвычайно неопределенным (тем более, что на данный момент доля отечественных производителей на рассматриваемых рынках близка к нулю). Поэтому предлагаемая модель предусматривает возможность изменения от 0 до 100 % долей рынка $\{\alpha_{I,i}\}$, занимаемых конкурентами в тех или иных сегментах, и позволяет наглядно представить равновесные стратегии производителей при том или ином распределении объемов продаж. Это распределение в данной модели может быть представлено точкой в координатах $(\alpha_{A,1};\alpha_{A,2})$ (поскольку $\alpha_{B,1}=1-\alpha_{A,1}$, $\alpha_{B,2}=1-\alpha_{A,2}$), см. рис. 4.8. Приведенная на этом рисунке диаграмма аналогична *диаграмме Эджворта* (см. [147]) – широко известному инструменту, позволяющему наглядно представить распределение долей двух объемов между двумя сторонами. Для построения этих диаграмм все вычисления по описанной модели автоматизированы с помощью программы, разработанной А.Л. Русановой, поскольку эти весьма трудоемкие вычисления необходимо производить для множества вариантов распределения долей рыночных сегментов. В расчетах доли рынка, занимаемые каждым игроком в каждом сегменте, изменяются дискретным образом с шагом 5 % от 0 до 100 %.

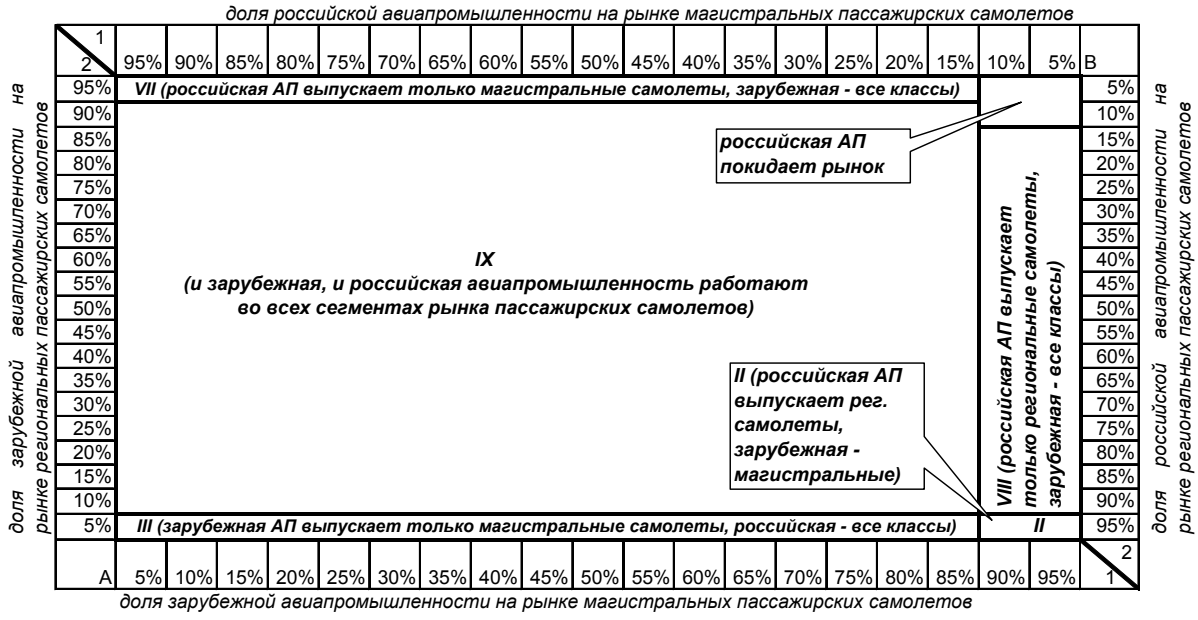


Рис. 4.8. Равновесные сочетания стратегий при различных распределениях объемов продаж между конкурентами

В примере, изображенном на рис. 4.8, в качестве целевого для отечественного авиастроения сегмента 2 рассматривается рынок региональных пассажирских самолетов, на который в ближайшее время выходит самолет SSJ. Соответственно, в качестве сегмента 1 рассматривается агрегированный рынок магистральных пассажирских самолетов. Поскольку доля отечественных предприятий на этом рынке заведомо будет невелика (даже по самым оптимистичным прогнозам, см. [135], порядка 15 %), реалистичная область распределений объемов продаж на этой диаграмме расположена вблизи правого края. Зарубежные производители более тяжелых самолетов Boeing и Airbus Industry практически не выпускают региональных самолетов. Тем не менее, в составе обобщенного зарубежного авиастроения успешно работают производители самолетов данного класса – прежде всего, компании Embraer (Бразилия) и Bombardier (Канада). В последние годы в этом же сегменте рынка появляются новые производители и продукты – корпорация AVIC (КНР), представляющая модель ARJ 21, компания Mitsubishi (Япония), предлагающая региональный самолет MRJ и др. В близкую категорию попадает и украино-российский самолет Ан-148, находящийся на стадии освоения серийного производства. Таким образом, и на рынке региональных самолетов доля российской авиационной промышленности будет заведомо ниже 100 %.

При построении диаграммы на рис. 4.8 использованы следующие исходные данные: $N_1 = N_2 = 25$ лет; $T^0_{A,1} = 5$ лет; $T^0_{B,1} = 10$ лет; $T^0_{A,2} = T^0_{B,2} = 2$ г.; $q_1^{\text{м}} = 785$ ед./г; $q_1^{\text{к}} = 940$ ед./г; $q_2^{\text{м}} = 250$ ед./г; $q_2^{\text{к}} = 300$ ед./г; $p_1^{\text{м}} = 110$ млн.долл./ед.; $p_1^{\text{к}} = 95$ млн.долл./ед.; $p_2^{\text{м}} = 25$ млн.долл./ед.; $p_2^{\text{к}} = 30$ млн.долл./ед.; $FC_A^{\text{общ}} = FC_B^{\text{общ}} = 3$ млрд долл.; $FC_{A,1}^{\text{спец}} = 25$ млрд долл.; $FC_{B,1}^{\text{спец}} = 35$ млрд долл.; $FC_{A,2}^{\text{спец}} = FC_{B,2}^{\text{спец}} = 2$ млрд долл.; $c_{A,1}^{\text{мат}} = c_{B,1}^{\text{мат}} = 55$ млн долл./ед.; $c_{A,1}^{\text{тр1}} = c_{B,1}^{\text{тр1}} = 75$ млн. долл./ед.; $c_{A,1}^{\text{мат}} = c_{B,1}^{\text{мат}} = 15$ млн долл./ед.; $c_{A,1}^{\text{тр1}} = c_{B,1}^{\text{тр1}} = 20$ млн долл./ед.; $\lambda = 15\,\%$. В данной работе средневзвешенные цены и суммарные объемы продаж в агрегированных сегментах рынка оцениваются на основе данных табл. 4.1. Постоянные затраты на разработку и подготовку производства перспективных изделий по порядку величины соответствуют значениям, объявленным производителями [174, 177]. Например, постоянные затраты по программе самолета сверхбольшой вместимости А-380, выпускаемого европейским концерном Airbus Industries, превысили, по сообщениям производителя, 12 млрд долл. Параметры функций переменных затрат на производство гражданской авиатехники, в отличие от объемов постоянных затрат, не объявляются производителями открыто. Здесь они приближенно восстанавливаются на основе публикуемых производителями минимальных объемов выпуска, необходимых для окупаемости проекта, а также результатов исследований [152, 155]. С помощью предложенной модели были проведены параметрические расчеты в широком диапазоне исходных

данных, в т.ч. значений параметров себестоимости перспективных изделий. С качественной точки зрения, результаты расчетов весьма устойчивы к изменениям исходных данных.

Вопреки распространенному стереотипу, здесь считается, что удельные переменные затраты у российских авиастроителей не ниже, чем у зарубежных. Уже сейчас цены материалов и комплектующих изделий (которые нередко приходится импортировать) в России, по меньшей мере, не ниже, чем за рубежом. Приближаются к мировому уровню и ставки оплаты квалифицированного труда работников дефицитных специальностей (с учетом практической потери существенной части кадрового потенциала и необходимости овладения новыми технологиями). Постоянные затраты на разработку и подготовку производства магистральных самолетов (т.е., изделий сегмента 1) в нашей стране, вероятно, будут даже выше, чем за рубежом, поскольку потенциал отечественной авиационной промышленности, частично разрушенный за последние годы, еще предстоит восстановить, причем, на современном технологическом уровне. И если зарубежные компании уже в ближайшие 2–5 лет представят на рынке новые типы магистральных самолетов большой вместимости, то отечественным предприятиям необходимо ликвидировать технологическое отставание, провести техническое перевооружение производства, поэтому $T^0_{B,1} > T^0_{A,1}$.

Если, как показано на рис. 4.8, доля отечественных предприятий в избранном ими целевом сегменте будет мала, они уйдут с рынка, поскольку их ожидаемая прибыль становится отрицательной. Таким образом, риск для российского авиастроения весьма велик, и необходимы специальные меры, гарантирующие достижение отечественными предприятиями доли рынка региональных самолетов не ниже определенного порога (согласно рис. 4.8 – не менее 15–20 %; для сравнения, в планах разработчиков самолетов SSJ прогнозируемая доля рынка составляет не менее 20 % [112]). Аналогичные ситуации имеют место, если в качестве целевого для отечественного авиастроения сегмента 2 рассматривать агрегированный рынок как региональных самолетов, так и узкофюзеляжных магистральных самолетов (где отечественная авиапромышленность в ближайшие годы будет представлена проектом МС-21). В последнем случае сегмент 1 будет представлять собой агрегированный рынок широкофюзеляжных самолетов и самолетов сверхбольшой вместимости, на который отечественная промышленность вообще не планирует выходить в обозримом будущем.

Целевой уровень доли российского авиастроения на мировом рынке нуждается в тщательном обосновании. Стратегия развития российского авиастроения подвергается справедливой критике (см. [41, 94]) за минимализм, который даже усиливается в последнее время в связи с глобальным финансово-экономическим кризисом. Если изначально в Стратегии предусматривалось завоевание 10 % мирового рынка гражданской авиатехники к

2015 г.[60] [135], то в 2009 г. Министерство промышленности и торговли России уже обнародовало следующие планы: к 2015 г. доля России на мировых рынках авиастроения должна достичь 5 %, а к 2025 г. – 10 %. Аналогичные коррективы внесены в Стратегию развития ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация» [192]. Однако принципиально важно не снижать плановых значений доли рынка до экономически неприемлемого уровня, поскольку, как обосновано в главе 1, чтобы авиастроительное производство было рентабельным, оно должно быть массовым.

Обоснована ли концентрация ресурсов отрасли лишь на немногих приоритетных проектах, если в выбранных сегментах рынка велик риск недостижения необходимого объема продаж? Не будет ли предпочтительнее диверсификация продуктового ряда? В настоящее время финансовые, кадровые и др. ресурсы не позволяют сохранить присутствие российского авиастроения сразу во многих сегментах рынка гражданской авиатехники. Если концентрация ресурсов на немногих направлениях рискованна, то их распыление гарантированно неэффективно. Поэтому, несмотря на то, что диверсификация является простейшим способом снижения риска, в сложившейся ситуации этот способ неприменим. Остается детально анализировать различные виды рисков реализации приоритетных проектов и более обоснованно выбирать сами приоритетные направления развития.

При формировании перспективной продуктовой стратегии российского авиастроения необходимо учитывать, что общепринятые критерии коммерческой эффективности – прибыль или чистая текущая стоимость портфеля проектов – безусловно, не являются исчерпывающими для авиационной промышленности. Это наукоемкая отрасль, выполняющая, помимо производственных и финансовых, ряд прочих важных функций – обеспечение обороноспособности, стимулирование научных исследований и образования, и т.п. Поэтому даже в том случае, если прогноз коммерческой эффективности курса на сохранение в России возможности самостоятельного производства всех классов летательных аппаратов окажется неудовлетворительным, возможно, эта стратегия будет признана желательной по другим критериям. Так, например, продуктовая стратегия российского авиастроения не предусматривает в обозримом будущем создания широкофюзеляжных дальнемагистральных пассажирских самолетов, наподобие выпускаемого ныне Ил-96, поскольку коммерческий успех в конкуренции с перспективными зарубежными изделиями – Airbus A-350XWB (ЕС) и Boeing-787 (США) – не представляется возможным. Однако сохранение Россией самостоятельности в разработке и производстве самолетов данного класса может быть стратегически важным с точки зрения национальной безопасности и национального престижа. Так, в настоящее время именно Ил-96 выполняет в России функции «борта № 1». Как правило, на базе

[60] В абсолютном стоимостном выражении планировалось вывести объем продаж гражданской авиатехники на уровень около 7 млрд долл. в год.

гражданских воздушных судов данного класса создаются изделия специального назначения (воздушные командные пункты, танкеры для дозаправки в воздухе и т.д.). Аналогично, хотя проекты Sukhoi SuperJet 100 и МС-21, как показано выше, не являются прорывными и весьма рискованны с коммерческой точки зрения, однако в необходимости их реализации нет сомнений, поскольку они выполняют стратегическую роль *«поддерживающих»* проектов. Во-первых, они, как ожидается, позволят сохранить присутствие на рынках гражданской авиатехники, избежав полной потери известности и авторитета российского авиастроения в отечественных и зарубежных авиакомпаниях (а такой рыночный потенциал имеет немалое экономическое значение и создается в течение многих десятилетий)[61]. Во-вторых, участие российских предприятий в этих проектах позволит отрасли не только сохранить кадровый и научный потенциал, но и выйти на современный уровень технологического развития. Так, например, в рамках проекта Sukhoi SuperJet 100 практически впервые в России были внедрены технологии безбумажного проектирования и ТПП авиатехники (CALS-технологии), подробнее см. [79, 124]. Новыми для отечественного авиастроения можно считать и сами принципы организации бизнеса, используемые при создании Sukhoi SuperJet 100 и МС-21 – маркетинговую проработку проектов с потенциальными заказчиками, предоставление полного набора современных послепродажных услуг и т.п. По своему значению эти проекты можно сравнить с освоением советской авиационной промышленностью серийного производства бомбардировщика Ту-4, конструкция которого была практически скопирована с Boeing B-29 [47, 148]. Несмотря на отсутствие конструктивной новизны (не говоря уже о прорывном превосходстве над зарубежными аналогами), освоение серийного производства этого изделия потребовало не только коренного технологического перевооружения авиационной промышленности и целого ряда смежных отраслей, но и качественного улучшения культуры производства.

Кроме того, необходимо учитывать требования обеспечения национальной безопасности. Опыт ряда зарубежных стран показывает, что при усложнении международной обстановки весьма вероятно прекращение поставок гражданской авиатехники производства США и ЕС, а также ее обслуживания и снабжения запчастями (что фактически сразу блокирует возможности продолжения ее безопасной эксплуатации). Причем, несмотря на жесткую конкуренцию американских и западноевропейских авиастроительных компаний, в этих случаях они проводят согласованную политику. Поэтому ряд специалистов и руководителей предприятий подчеркивает необходимость сохранения Россией технологической самостоятельности в сфере производства всех классов гражданской авиатехники.

[61] Строго говоря, из этих же соображений целесообразно создавать научно-технологический задел для разработки и производства не только узкофюзеляжных ближне- и среднемагистральных, но и широкофюзеляжных дальнемагистральных самолетов следующего поколения.

Однако проблемы обеспечения технологической самостоятельности страны выходят далеко за рамки авиационной промышленности. Прежде всего, нельзя говорить о полноценной технологической самостоятельности национального авиастроения, если практически все высокотехнологичное оборудование, необходимое для создания авиатехники нового поколения (в т.ч. военного назначения), российские предприятия закупают за рубежом. Отечественное станкостроение – основа технологической самостоятельности национальной промышленности – находится в глубоком кризисе (подробнее см. соответствующий раздел в книге [62]). Еще сильнее выражена зависимость от импорта в части программного обеспечения, используемого при создании современной авиатехники, элементной базы радиоэлектронного оборудования и т.п.

### *4.2.4. Временные аспекты конкуренции на рынках гражданской авиатехники*

На рис. 4.9 наглядно показано значение фактора времени на конкурентных рынках авиатехники. В данном примере при тех же исходных данных, что и на рис. 4.8, принято предположение о том, что отечественные предприятия на 3 года запаздывают относительно зарубежных конкурентов с выводом на рынок новых региональных самолетов: $T^0_{B,2} = 5$ лет.

Рис. 4.9. Влияние запаздывания выхода нового изделия на рынок

По сравнению с рис. 4.8, в нижней части диаграммы исчезли зоны равновесий, в которых зарубежная авиапромышленность не составляла конкуренции отечественной на рынке региональных самолетов. При этом расширилась зона равновесий, в которой отечественной авиапромышленности будет вообще невыгодно выходить на мировой рынок. Влияние вре-

менного фактора усиливается, если в качестве целевой функции рассматривать не прибыль, а чистую текущую стоимость портфеля проектов компании, с учетом того, что процентные ставки по кредитам и ставки дисконтирования в данной отрасли весьма высоки в силу долгосрочного характера и высокого риска реализации проектов. Увеличение длительности предпроизводственных стадий жизненного цикла высокотехнологичной продукции может привести к *эффекту блокировки* [153]: начиная с определенного момента, реализация запоздавшего проекта станет невыгодной. Таким образом, возможное запаздывание вывода нового продукта на рынок создает серьезную угрозу развитию отрасли. В этой связи вызывает опасения тенденция неоднократного сдвига сроков вывода на рынки перспективного среднемагистрального самолета МС-21. Если первоначально поставки авиакомпаниям предполагалось начать в 2012–2013 гг. [95, 135], в 2009 г. авторитетные источники уже называют в качестве оптимистического срока 2016 г. [192].

Чувствительность объема продаж к моменту выхода изделия на рынок усугубляется тем, что в реальности спрос на новые воздушные суда отнюдь не является постоянным на протяжении всего периода продаж, как предполагалось в данной упрощенной модели. К настоящему времени советская гражданская авиатехника разработки 1960-1970-х гг. морально устарела – и по экономическим, и по экологическим показателям. Авиакомпании экономически заинтересованы в ее досрочной замене на зарубежные изделия разработки 1980-х – начала 1990-х гг. С одной стороны, в период массовой замены морально устаревшей авиатехники предыдущих поколений на современные изделия, возникает дефицит последних, и российские предприятия могли бы рассчитывать на значительный объем продаж конкурентоспособной продукции. С другой стороны, начало поставок МС-21, изначально намечавшееся на 2012–2013 гг., в настоящее время уже смещено на 2015–2016 гг. К этому времени, согласно планам импорта воздушных судов, их дефицит уже будет преодолен, и в парках большинства авиакомпаний, ранее использовавших советскую авиатехнику, будут в массовом порядке эксплуатироваться зарубежные среднемагистральные самолеты семейств А-320 и Boeing-737, конкурирующие с МС-21. В последние годы происходит массовая переориентация авиакомпаний с советской авиатехники на зарубежную. Авиаперевозчикам уже сейчас необходимо заменять старый парк советской авиатехники по причинам выработки ресурса или морального устаревания (несоответствия экологическим нормам, высокого расхода дорожающего топлива, и т.д.) Однако массовые продажи современных гражданских самолетов семейств Ил-96 и Ту-204, авиадвигателей ПС-90А, фактически, и не начинались. Комплексное обеспечение конкурентоспособности авиатехники требует значительных инвестиций и времени, которое применительно к данному поколению авиатехники было упущено. Поэтому за прошедшие годы отечественная авиационная промышленность практически потеряла не только традиционные экспортные

рынки стран СНГ, Китая, Индии, ряда стран третьего мира, но даже внутренний российский рынок (см., например, [67]). В 2006 г. в российские авиакомпании поступило 79 импортных магистральных и региональных самолета, в 2007 г. – 74, в 2008 г. – 109 (на фоне единичных объемов производства аналогичной авиатехники в России, тем более, что она, в свою очередь, поставляется и на экспорт в страны третьего мира). В итоге суммарный объем импорта пассажирских воздушных судов уже сопоставим с их потребным количеством в российских авиакомпаниях, оцененным в п. 4.1, а на импортной авиатехнике выполняется уже существенно больше половины пассажирооборота гражданской авиации РФ.

Как показано в п. 4.2.1, перспективный самолет МС-21 не обладает прорывным превосходством над современными среднемагистральными самолетами А-320 и Boeing-737, достаточным для того, чтобы с его появлением они морально устарели. Поэтому, если в течение ближайших 5...7 лет российские авиакомпании в массовом порядке приобретут авиатехнику зарубежного производства, можно с большой долей уверенности полагать, что они не будут заинтересованы в ее замене на самолеты семейства МС-21 до полной выработки ресурса. Важно учесть, что самолеты А-320 и Boeing-737, закупаемые в настоящее время авиакомпаниями, ранее эксплуатировавшими советскую авиатехнику, являются, в основном, новыми или обладают значительным остатком ресурса. Сроки их массового списания по причине выработки ресурса наступят существенно позже 2015–2016 гг. Поэтому не лишены основания опасения отечественных авиастроителей по поводу необратимой потери российского рынка и экспортных рынков, традиционных для отечественной промышленности, вследствие массовой закупки зарубежной авиатехники. Что касается рынков развитых стран мира (США, ЕС и др.), уже в настоящее время авиакомпании этих стран эксплуатируют, в основном, современную авиатехнику, и не нуждаются в массовой замене изделий предыдущих поколений.

Таким образом, если будет упущен период массовой замены морально устаревшей советской авиатехники в авиакомпаниях России, стран бывшего СССР и др., в первые годы периода продаж самолетов МС-21 спрос на них будет обусловлен, в основном, лишь необходимостью расширения провозных мощностей. Как показано в п. 1.3, эта компонента спроса на новую авиатехнику чрезвычайно нестабильна. В итоге возникает серьезная угроза недостижения планируемых объемов продаж перспективных российских изделий. Следовательно, необходимо форсировать (в т.ч., и за счет государственной финансовой поддержки) разработку новых типов авиатехники (прежде всего, семейства МС-21), а также освоение серийного производства разработанных изделий (в первую очередь – SSJ).

В принципе, для удержания российского рынка до начала массовых поставок изделий нового поколения возможно гибкое применение некоторых протекционистских мер. Для восполнения баланса провозных мощностей, авиакомпаниям может быть разрешен лизинг зарубежных воздушных

судов строго на период до закупки новых российских самолетов в заранее оговоренные сроки. Такие решения уже принимались в 1990-е гг. Например, авиакомпаниям «Аэрофлот» и «Трансаэро» разрешалось ввезти беспошлинно (в период действия довольно высоких импортных пошлин на уровне 42 %) зарубежные пассажирские самолеты в обмен на обязательство приобрести в дальнейшем отечественные самолеты типов Ил-96-300 и Ту-204, а импортные воздушные суда продать или вернуть зарубежным лизингодателям, см., например, [125]. Однако фактически эти обязательства не были выполнены в силу объективной незаинтересованности авиакомпаний в закупке указанных российских самолетов (подробнее см., например, [67, 142]). В то же время, если российское авиастроение действительно предложит перевозчикам экономически эффективную продукцию, такие меры могут быть реализованы без ущерба для экономических интересов авиакомпаний и связанного с ним сопротивления. Естественно, потребуется обеспечить ответственность производителей за сроки поставки и цены новой авиатехники, уровень ее технико-экономических характеристик, качество послепродажного обслуживания и т.д. Кроме того, описанные протекционистские меры не могут применяться неограниченно долго.

Важность выдерживания плановых сроков выхода на рынок усиливается в связи с тем, что вскоре после запланированного начала поставок МС-21, зарубежные конкуренты планируют вывести на рынок уже новые модели-преемники А-320 и Boeing-737. Так, компания Airbus Industry планирует представить преемника семейства А-319/320/321 не ранее 2020 г., а возможно, и позже [174]. Т.е. отечественное и зарубежное гражданское авиастроение могут «поменяться местами», и проект МС-21 может захватить лидерство в период смены поколений авиатехники. Однако для этого он должен быть по своим технико-экономическим характеристикам существенно ближе не к семейству А-319/320/321, а к его преемнику. В связи с этим, МС-21 (ввиду практической невозможности достижения прорывного превосходства над современными аналогами) нередко позиционируется его разработчиками как *переходный* тип изделий. Однако такое позиционирование перспективного российского самолета также нуждается в корректном экономическом обосновании. Необходимо ответить на следующие вопросы:

- каким уровнем характеристик должны обладать изделия переходного типа, и на сколько лет должны опережать зарубежных конкурентов, чтобы заинтересовать потенциальных покупателей?
- продолжится ли массовая продажа самолетов переходного типа после появления принципиально нового поколения изделий лидеров мирового авиастроения?
- удастся ли реализовать изделия переходного типа в объеме, обеспечивающем рентабельность проекта?

Корректный ответ на эти вопросы требует развития методического аппарата, описанного в п. 2.1 и в настоящем пункте. Предварительно мож-

но высказать следующие качественные соображения. Поскольку некоторый проигрыш изделий переходного типа в экономической эффективности предполагается компенсировать выигрышем во времени, чем меньше опережение переходного типа воздушных судов относительно зарубежных изделий нового поколения, тем ближе должен быть уровень его технико-экономических характеристик к уровню конкурентов. Объемы продаж изделий переходного типа определяются, прежде всего, их количеством, которые будут приобретены до появления зарубежных изделий нового поколения. Причем, емкость этого т.н. *якорного рынка* определяет и возможности продаж самолетов переходного типа после появления принципиально новых зарубежных изделий. Несмотря на прогнозируемое превосходство нового поколения самолетов Boeing и Airbus, и после их выхода на рынок авиакомпании могут продолжить приобретать изделия переходного типа – прежде всего, те авиакомпании, которые уже приобрели некоторое количество таких воздушных судов для замены авиатехники нынешнего поколения. Этому могут способствовать два эффекта. Во-первых, с ростом численности парка в эксплуатации сокращаются удельные затраты на ТОиР и материально-техническое обеспечение (подробнее см. [78]), и может оказаться выгоднее увеличить численность уже имеющегося парка изделий переходного типа, чем вводить в эксплуатацию новый тип воздушных судов. Во-вторых, и в сфере эксплуатации действуют эффекты обучения, снижающие удельные затраты на ТОиР уже освоенных типов воздушных судов. Можно заметить, что все перечисленные соображения касаются, в основном, затрат на ТОиР. Однако если новые изделия зарубежных авиастроителей будут обладать значительным превосходством над переходным типом воздушных судов в части расхода топлива, этот фактор может стать решающим.

Критический анализ эффективности перспективных типов авиатехники в сравнении с конкурентами не раз приводил к коренному пересмотру концепции будущего изделия, позволяющему обеспечить его конкурентоспособность в долгосрочной перспективе – даже ценой сдвига сроков выхода на рынок. Так, ознакомившись с параметрами нового дальнемагистрального самолета Boeing-787 Dreamliner, руководство компании Airbus Industry приняло решение о разработке принципиально нового самолета данного класса – A-350 XWB (eXtra Wide Body), тогда как изначально планировалось, что будущий A-350 будет лишь результатом глубокой модернизации семейства A-330/340 (подробнее см. [130, 174]). Еще более яркий пример доставляет история создания одного из лучших боевых самолетов своего поколения – Су-27 [61]. Несмотря на то, что первые прототипы уже проходили летные испытания, конструкторы по собственной инициативе приняли решение о кардинальной переработке проекта, поскольку по вновь полученным сведениям характеристики конкурирующего истребителя F-15 (США) оказались существенно лучше, чем предполагалось изначально. Естественно, такое решение повлекло за собой сдвиг сроков начала

серийного производства и принятия на вооружение, однако оказалось полностью оправданным: лидерство самолетов семейства Су-27 (в сочетании с огромным модернизационным потенциалом базовой конструкции) в течение длительного периода позволило им оставаться наиболее востребованным продуктом российского оружейного экспорта. Таким образом, необходимо одновременно формировать требования как к технико-экономическим показателям перспективной продукции, так и к срокам ее вывода на рынки, что требует дальнейшего развития методического аппарата, описанного в данной главе.

### *4.2.5. Альтернативы прямой конкуренции с зарубежным авиастроением*

Таким образом, конкуренция отечественного авиастроения с зарубежным на рынках региональных и узкофюзеляжных среднемагистральных самолетов сопряжена со значительными рисками, а на рынках широкофюзеляжных самолетов – вообще не представляется возможной в обозримом будущем. Гораздо более благоприятная ситуация, по сравнению с изображенной на рис. 4.8 и 4.9, представлена на рис. 4.10, полученном при следующих значениях исходных данных: $N_1 = N_2 = 25$ лет; $T^0_{A,1} = 5$ лет; $T^0_{B,1} = 10$ лет; $T^0_{A,2} = 5$ лет; $T^0_{B,2} = 3$ г.; $q_1^{\text{м}} = 1035$ ед./г; $q_1^{\text{к}} = 1240$ ед./г; $q_2^{\text{м}} = 12$ ед./г; $q_2^{\text{к}} = 15$ ед./г; $p_1^{\text{м}} = 90$ млн долл./ед.; $p_1^{\text{к}} = 75$ млн долл./ед.; $p_2^{\text{м}} = 150$ млн долл./ед.; $p_2^{\text{к}} = 120$ млн долл./ед.; $FC_A^{\text{общ}} = 5$ млрд долл.; $FC_{A,1}^{\text{спец}} = 25$ млрд долл.; $FC_{A,2}^{\text{спец}} = 5$ млрд долл.; $FC_{\text{B}}^{\text{общ}} = 0$; $FC_{B,1}^{\text{спец}} = 40$ млрд долл.; $FC_{B,2}^{\text{спец}} = 2$ млрд долл.; $c_{A,1}^{\text{мат}} = c_{B,1}^{\text{мат}} = 45$ млн долл./ед.; $c_{A,1}^{\text{тр1}} = c_{B,1}^{\text{тр1}} = 60$ млн долл./ед.; $c_{A,2}^{\text{мат}} = c_{B,2}^{\text{мат}} = 75$ млн долл./ед.; $c_{A,2}^{\text{тр1}} = c_{B,2}^{\text{тр1}} = 100$ млн долл./ед.; $\lambda = 15\,\%$.

Рис. 4.10. Безрисковый сценарий развития российского авиастроения

Здесь под сегментом 1 подразумевается агрегированный рынок пассажирских самолетов, а под сегментом 2, выбранным российской промышленностью в качестве целевого – рынок сверхтяжелых грузовых самолетов, где отечественные предприятия традиционно имели подавляющее преимущество перед зарубежными конкурентами. Фактически, на данный момент единственным в мире самолетом данного класса, находящимся в коммерческой эксплуатации, является российско-украинский Ан-124, выполняющий перевозки сверхтяжелых и крупногабаритных грузов, в т.ч., и за рубежом. Конкурентное преимущество на рынках авиатехники может выражаться не только в более низких значениях затрат, но и в более раннем выходе на рынок. В принципе, зарубежное авиастроение могло бы включиться в конкуренцию в сегменте самолетов сверхбольшой грузоподъемности, однако для этого ему потребуются значительные инвестиции и время. Российским же предприятиям для возобновления приостановленного выпуска самолетов Ан-124 потребуется, по оценкам производителей, 1,5 млрд долл., включая затраты на модернизацию основных фондов (подробнее см. [56]). Производство модернизированных Ан-124 планируется возобновить уже в ближайшие годы, тогда как в США создание самолетов аналогичного класса не планируется до 2025 г.

Согласно диаграмме на рис. 4.10, российским авиастроителям целесообразно выходить на рынок пассажирских самолетов, если им удастся занять на этом рынке 15 % и более. Но и в менее благоприятном случае за российским авиастроением остается определенная рыночная ниша. В правой области диаграммы, изображенной на рис. 4.10, реализуется исключительно равновесие II, т.е. отечественные предприятия работают только в избранном ими сегменте сверхтяжелых грузовых самолетов, а зарубежные вообще не выходят на этот рынок, какую бы долю они ни могли на нем занять, и выпускают исключительно пассажирские самолеты. Описанная ситуация для российского авиастроения является практически безрисковой, что весьма благоприятно по следующей причине. При наличии значительной неопределенности будущей доли рынка (и, следовательно, объемов продаж), затруднено обоснованное планирование уровня производственных мощностей, потребностей в подготовке и найме квалифицированного персонала, и т.п. Поэтому даже если в итоге проект создания изделия для данного сегмента рынка окупится, запланированный уровень мощностей и численность персонала могут оказаться

- избыточными, если фактическая доля рынка окажется ниже ожидаемой;
- недостаточными, если производитель (при наличии мощностей) мог бы занять долю рынка, большую, чем ожидаемая.

В обоих описанных случаях эффективность проекта снижается. Избыточность мощностей и численности персонала влечет за собой потери вследствие избыточного уровня постоянных затрат, недостаточность при-

водит к упущенной выгоде. Поэтому именно к реализации безрисковых ситуаций, наподобие изображенных на рис. 4.10, целесообразно стремиться при выработке стратегии развития российского гражданского авиастроения и других отраслей наукоемкой и высокотехнологичной промышленности. Однако такие ситуации возможны лишь в следующих специфических случаях.

*Случай 1.* Избранный российской промышленностью целевой сегмент рынка обладает относительно малой емкостью, и непривлекателен для зарубежных конкурентов по сравнению с остальными сегментами (именно такой случай реализуется в данном расчетном примере: суммарная монопольная прибыль на рынке пассажирских самолетов составляет около 740 млрд долл., а на рынке сверхтяжелых грузовых самолетов – около 5 млрд долл.). Тем не менее, если те или иные «нишевые» продукты обеспечивают безубыточную работу российских предприятий, возможностью их производства ни в коем случае не следует пренебрегать. Помимо упомянутых тяжелых транспортных самолетов, к таким видам продукции относятся также самолеты-амфибии, вертолеты (тяжелые, а также высокоманёвренные, выполненные по т.н. *соосной* схеме, подробнее см. [148]). Сохранение за отечественным авиастроением ключевых компетенций в узкоспециализированных нишах рынка авиатехники важно не только с коммерческой, но и с оборонной, научно-технологической, и т.д. точек зрения.

*Случай 2.* При высокой емкости избранного целевого сегмента, отечественная авиапромышленность обладает в этом сегменте подавляющим конкурентным преимуществом, которое может выражаться в меньших, чем у зарубежных конкурентов, значениях затрат (как переменных, так и постоянных) или в меньшей длительности выхода на рынок. Фактически, это ситуация, симметричная нынешнему соотношению сил российского и зарубежного авиастроения на рынках пассажирских самолетов.

В настоящее время усилия руководителей предприятий во многих отраслях российской промышленности, в т.ч. в авиастроении сосредоточены на конкурентной борьбе, принимающей антагонистические формы. Однако ряд исследователей, как в России, так и за рубежом (см., например, [48, 70]), считают подобную прямую конкуренцию чрезвычайно непродуктивной и даже деструктивной. Конкурентная борьба, превращаясь в самоцель, поглощает огромные ресурсы (как самих компаний, так и государства), которые иначе могли бы быть направлены на инновации, повышающие удовлетворенность потребителей. В предлагаемой модели можно непосредственно учесть, что конкуренция в одном или нескольких сегментах рынка, помимо того, что она приводит к снижению рыночной власти и цены продукции ( $p_i^{\text{к}} < p_i^{\text{м}}$ , $i = 1,2$ ), может требовать от производителей дополнительных издержек:

- на рекламу своей продукции и антирекламу продукции конкурента;

- на лоббирование своих интересов в органах государственного управления и в руководстве авиакомпаний, являющихся потенциальными заказчиками продукции;
- на конкурентную разведку, промышленный шпионаж, и т.п.

В работе [1] отмечено, что в ряде отраслей – как правило, производящих потребительские товары и услуги – соответствующие затраты (прежде всего, на рекламу) сравнимы или даже превышают собственно издержки производства. Разумеется, значение рекламы на рынках авиатехники, т.е., продукции производственного назначения, не столь велико, как на рынках потребительских благ. Однако и в авиастроении затраты на конкурентную борьбу, на продвижение продукции на рынки, и т.п. могут быть существенными. Так, в главе 3 показано, что к таковым можно в значительной мере отнести затраты на улучшение экологических характеристик авиатехники и лоббирование ужесточения экологических стандартов в гражданской авиации.

Издержки, связанные с конкуренцией, могут относиться как к переменным, так и к постоянным затратам. Вклад дополнительных затрат, связанных с конкуренцией, в переменные издержки может быть учтен при определении цены на данном рынке в случае конкуренции производителей. Дополнительные постоянные затраты, связанные с конкурентной борьбой, можно представить следующим образом. Как и постоянные затраты на НИОКР и ТПП, их можно разделить на общие и специфические, связанные с конкуренцией в конкретном сегменте рынка. Обозначим:

$FC_I^{\text{к общ}}$ – общие постоянные затраты $I$-го игрока на конкурентную борьбу, млрд долл.; $I = A, B$;

$FC_{I,i}^{\text{к спец}}$ – специфические постоянные затраты $I$-го игрока на конкурентную борьбу в $i$-м сегменте рынка, млрд долл.; $I = A, B$; $i = 1, 2$.

Если производители вступают в конкуренцию хотя бы в одном сегменте рынка, суммарные постоянные затраты $I$-го игрока на конкурентную борьбу выражаются следующей формулой:

$$FC_I^{\text{к }\Sigma} = FC_I^{\text{к общ}} + \sum_i \left[ \delta_{A,i} \cdot \delta_{B,i} \cdot FC_{I,i}^{\text{к спец}} \right],\ I = A, B;\ i = 1, 2. \qquad (4.21)$$

Если же ни в одном сегменте рынка производители не вступают в конкуренцию, $FC_A^{\text{к }\Sigma} = FC_B^{\text{к }\Sigma} = 0$. Дополнительные издержки, связанные с конкурентной борьбой, следует учитывать при расчете величин затрат и прибыли конкурирующих производителей.

На первый взгляд, рост затрат на конкурентную борьбу однозначно приводит к повышению долей рынка, занимаемых производителем в соответствующих сегментах. Однако, во-первых, в реальности сложно оценить эффективность этих затрат, тем более, в условиях активного противодействия конкурента (см., например, [1]), и, во-вторых, объемы продаж и доли рынка подвержены влиянию множества случайных факторов, не завися-

щих от усилий конкурирующих производителей. В рамках предлагаемого здесь подхода каждый игрок может, пользуясь диаграммами наподобие изображенных на рис. 4.8–4.10, увидеть, какие равновесия установятся при достижении сторонами той или иной доли рынка, и оценить обоснованность тех или иных затрат на конкурентную борьбу.

При тех же исходных данных, которые использовались при построении диаграммы на рис. 4.8, примем следующие значения затрат на конкурентную борьбу: $FC_A^{\text{к общ}} = 5$ млрд долл.; $FC_{A,1}^{\text{к спец}} = 5$ млрд долл.; $FC_{A,2}^{\text{к спец}} = 2$ млрд долл.; $FC_B^{\text{к общ}} = 10$ млрд долл.; $FC_{B,1}^{\text{к спец}} = 10$ млрд долл.; $FC_{B,2}^{\text{к спец}} = 4$ млрд долл. Здесь учитывается, что затраты, необходимые для продвижения продукции отечественной авиапромышленности на мировые рынки, могут быть существенно выше, чем связанные с конкурентной борьбой затраты зарубежного авиастроения, традиционно присутствующего на этих рынках. Значения затрат российского авиастроения на конкурентную борьбу в сегменте региональных самолетов, используемые в данном примере, по порядку величины соответствуют затратам, заложенным в Стратегию развития авиационной промышленности РФ на продвижение перспективных изделий на мировые рынки. С учетом затрат на конкурентную борьбу, равновесные стратегии конкурентов при различных распределениях долей рыночных сегментов принимают вид, изображенный на рис. 4.11.

Рис. 4.11. Влияние затрат, связанных с конкурентной борьбой

Как и следовало ожидать, наличие затрат на конкурентную борьбу снижает привлекательность всех стратегий, сопряженных с прямой конкуренцией производителей, и расширяет на диаграмме область равновесия II, когда конкуренты расходятся по разным рыночным нишам. В то же время,

расширяется область, в которой российскому авиастроению придется вообще покинуть рынок. Таким образом, наличие издержек, связанных с конкурентной борьбой и продвижением продукции на рынки, существенно повышает риск развития отечественной авиационной промышленности в условиях глобализации. Поэтому долгосрочные планы развития отечественного авиастроения должны быть нацелены не столько на увеличение доли, занимаемой российскими предприятиями на существующих рынках, сколько на поиск новых рынков, обладающих высокой емкостью. Помимо анализа равновесий при заданных параметрах рыночных сегментов, с помощью предложенного в данном разделе инструментария можно решить и обратную задачу: сформулировать требования к гипотетическим новым сегментам рынка авиатехники, открытие которых позволило бы российскому гражданскому авиастроению отказаться от непродуктивного и рискованного соперничества с зарубежными производителями в традиционном секторе магистральных самолетов. Эти требования определяют допустимую область в пространстве следующих параметров:

- цен, параметров себестоимости перспективных изделий и времени их вывода на рынок;
- емкости новой рыночной ниши.

Оценка выполнимости полученных требований включает в себя:

- прогнозирование объемов продаж перспективных изделий с теми или иными технико-экономическими характеристиками;
- проверку технической реализуемости вывода на рынок новых типов авиатехники с заданным уровнем технико-экономического совершенства в заданный момент времени, при заданном уровне затрат.

Создание научного и технологического задела, необходимого для освоения принципиально новой ниши рынка авиатехники, а также создание соответствующей инфраструктуры могут потребовать столь значительных инвестиций, что они не оправдаются на протяжении жизненного цикла одного поколения изделий. Однако освоение новой емкой ниши рынка позволит авиационной промышленности получать доходы на протяжении жизненного цикла нескольких поколений изделий, и при оценке эффективности подобных проектов следует руководствоваться соответствующим горизонтом планирования. Вполне возможно, что освоение принципиально новой ниши рынка авиатехники, позволяющее радикально повысить его емкость, потребует объединения усилий авиастроителей разных стран, их научного и финансового потенциала (причем, в дальнейшем они вновь могут конкурировать, предлагая различные типы изделий нового вида). Исследование таких возможностей потребует дальнейшего развития методологических подходов, изложенных в данном разделе.

### *4.2.6. Принципы разработки стратегии развития российского гражданского авиастроения*

Итак, необходим активный поиск новых рынков гражданской авиатехники и предоставляемых с ее помощью услуг. Важно подчеркнуть, что здесь не имеется в виду встраивание «по остаточному принципу» в незанятые промежутки в модельных рядах лидеров зарубежного авиастроения. Современная продуктовая политика российской авиационной промышленности предусматривает лишь отслеживание тенденций, сформированных лидерами мирового гражданского авиастроения. И даже если российским предприятиям удастся опередить зарубежных конкурентов в реализации отдельных технологических решений, в целом отечественное авиастроение играет роль последователя, ведомого. Следует подчеркнуть, что в своих долгосрочных стратегиях лидеры мирового гражданского авиастроения вообще не принимают в расчет российскую авиационную промышленность. Как показано выше, принятая на данный момент стратегия развития отрасли не ставит амбициозных задач – ни в количественном, ни в качественном отношении. Автору описанный подход представляется принципиально порочным, по следующим причинам.

1) *Деградация научного потенциала.* Если перед авиационной промышленностью не ставится действительно амбициозных задач, не востребован научный потенциал отрасли, который считается одним из немногих сохранившихся конкурентных преимуществ нашей страны в сфере авиастроения. Роль ведомого, принятая российской авиационной промышленностью, проецируется и на отраслевую науку, которой все в большей мере остается выполнять заказы зарубежных фирм на проведение конкретных расчетов или экспериментов. По субъективному мнению автора, все реже российские ученые, работающие в области авиационных технологий, берут на себя постановку принципиально новых комплексных научных проблем, открытие новых научных направлений. Постановка таких проблем (наподобие обозначенных в принятом США национальном плане исследований и разработок в сфере авиации [165]) требует наличия стратегического видения долговременных перспектив развития авиации, которое, в свою очередь, появляется только в результате системных исследований, проводимых на регулярной основе. В отсутствие такого видения, единственным выходом остается механическое копирование чужих стратегий развития – с неизбежным отставанием. Ярким примером являются исследования и разработки в области авиационной экологии, инициатива проведения которых полностью принадлежит зарубежной стороне, а отечественные ученые, в основном, воспринимают эту тематику как навязанную[62] извне, необходимую лишь для того, чтобы «удовлетворить требованиям мирового

[62] Необходимо учитывать, что ужесточение экологических норм имеет, как показано в п. 3.1, и коммерческую мотивацию.

рынка». Активное участие в формировании этих требований не предполагается ни в стратегии развития авиационной промышленности РФ, ни в стратегии развития ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация». Аналогичная ситуация сложилась в сфере комплексных исследований и разработок, нацеленных на качественное повышение безопасности полетов, хотя в этой области отечественная отраслевая наука играла в определенный период ведущую роль, подробнее см. [24, 51, 144].

Необходимо особо подчеркнуть следующую опасность. В отсутствие собственного стратегического видения перспектив развития авиации, нередко принимаются решения, приводящие к утрате российским авиастроением приоритета в тех или иных областях – именно на том основании, что за рубежом такие разработки отсутствуют. Так, несмотря на то, что еще в 1980-е гг. в СССР были разработаны комплексные решения по переводу воздушных судов на газовое топливо, включая отработку технологий эксплуатации, создание инфраструктуры и т.п. (подробнее см. [4, 47, 96, 148]), это направление не получило дальнейшего развития, а созданный задел фактически утерян. Помимо объективных проблем (недостаточное финансирование НИОКР в России в 1990-е гг. и т.п.), в сворачивании исследований и разработок по данному направлению сыграло определенную роль и указание на отсутствие аналогичных разработок за рубежом, хотя наиболее развитые страны мира, с одной стороны, заинтересованы в диверсификации источников авиатоплива, а с другой – безусловно, обладают потенциалом, достаточным для решения сложнейших научно-технических проблем. И лишь недавно зарубежным авиастроителям и авиакомпаниям удалось продемонстрировать возможность совершения коммерческих рейсов на топливе, полученном из природного газа[63] [149]. Аналогичная утрата лидирующих позиций произошла в секторе беспилотных авиационных комплексов, в сфере гиперзвуковых технологий, и т.д. Несмотря на то, что еще в конце 1990-х гг. отечественные ученые и специалисты всесторонне рассматривали возможности применения дозаправки в воздухе в гражданской авиации[64] [25], активизация интереса к этому оригинальному решению произошла лишь после выхода в свет зарубежных работ на эту тему [156]. Безусловно, те или иные инновационные решения могут быть рискованными или даже неэффективными[65], однако ориентация на зарубежных конкурентов приводит к запрограммированному отставанию российского авиастроения.

2) *Коммерческая неэффективность.* Не следует думать, что менее амбициозные планы более реалистичны. В последние годы в мире активно

---

[63] Причем, использовалось синтетическое топливо, подобное традиционному керосину, т.е. не пришлось решать специфические проблемы использования собственно газового топлива, успешно решенные в отечественных проектах.

[64] В п. 2.1.3 показаны технико-экономические аспекты данного решения.

[65] Однако и при наличии такого риска, как показано далее в п. 4.3, целесообразен поиск в различных, в т.ч. рискованных, направлениях.

формируются новые центры гражданского авиастроения (КНР, Индия и др.), проводящие чрезвычайно активную маркетинговую политику, и незанятых ниш на рынках традиционной авиатехники остается все меньше. Также в п. 4.2.4 показано, что стратегия «догоняющего развития» на рынках наукоемкой продукции чрезвычайно рискованна, поскольку даже небольшое временно**е** отставание от конкурента чревато существенной потерей рыночных позиций. Возможно, стратегический анализ перспектив развития отрасли, проводимый в данной работе, позволит российским предприятиям не догонять конкурентов в том, в чем их догонять не следует. Интересно заметить, что советская авиационная промышленность, развиваясь согласно собственной стратегии (пусть даже и неоптимальной в рыночных условиях), занимала гораздо более заметное место на мировом рынке авиатехники (см. [4, 21]), в т.ч. гражданской, чем современное российское авиастроение, пытающееся имитировать стратегии компаний-лидеров. Анализируя данные табл. 4.1, можно заметить, что эти компании имеют несколько различное видение перспектив развития рынков авиаперевозок и гражданской авиатехники, что накладывает отпечаток на их продуктовую политику. Так, Airbus Industry прогнозирует гораздо большую, по сравнению с Boeing, долю самолетов сверхбольшой вместимости в структуре парка авиакомпаний, и активно реализует программу создания крупнейшего в мире пассажирского самолета А-380 [130, 143], несмотря на проблемы, неизбежные при освоении новых сегментов рынка авиатехники (с которыми столкнулась в свое время и компания Boeing, создавая модель Boeing-747 [138]).

3) *Социальная неэффективность.* В нынешнем виде воздушный транспорт остается принципиально элитарным[66], даже несмотря на некоторое повышение доступности авиаперевозок. И хотя в п. 4.1 было показано, что гражданскому авиастроению не следует ориентироваться исключительно на внутренний рынок, правомерен и такой вопрос: насколько реализация вышеописанных проектов – даже успешная – будет способствовать повышению качества транспортного обслуживания россиян, а, в конечном счете – повышению качества их жизни (а также населения других стран, рассматриваемых в качестве потенциальных покупателей российской авиатехники)? Как обосновано в работе [80], именно этот критерий должен быть основным при выборе приоритетов инновационного развития российской экономики.

Интересно заметить, что соображения социальной и коммерческой эффективности в данном случае почти не противоречат друг другу. Даже если планируемая доля отечественной промышленности на рынках гражданской авиатехники – 10–15 % – обеспечит рентабельный выпуск продукции, необходимо учитывать, что в настоящее время, как в России, так и

[66] Подробнее проблема доступности авиатранспорта будет обсуждаться в главе 5.

в мире в целом услугами воздушного транспорта пользуется, по разным оценкам, от 3 до 10 % населения. Таким образом, даже по самым оптимистическим прогнозам российское гражданское авиастроение будет удовлетворять соответствующие потребности менее чем 1 % человечества. Стоит ли расходовать значительные ресурсы на конкурентную борьбу на таком ограниченном рынке? Напротив, ориентация российской авиапромышленности на создание общедоступного воздушного транспорта позволит избежать прямой конкуренции с лидерами зарубежного гражданского авиастроения (что, как показано в п. 4.2.5, чрезвычайно желательно). Под массовой доступностью авиатранспорта здесь и далее подразумевается доступность современных и качественных транспортных услуг для большей части человечества, а не только для населения наиболее экономически развитых стран мира. Такие социальные императивы кардинально отличаются от тех, которыми руководствуются разработчики национального плана США в области авиации [165], даже если последние декларируют цель обеспечения массовой доступности авиатранспорта.

Стратегия развития авиастроения должна решать не только узкоотраслевые проблемы (тем более, что отрасль претендует на значительную государственную поддержку за счет налогоплательщиков) – в этом случае не приходится рассчитывать на массовый спрос. Здесь уместна аналогия с другой отраслью: бесспорный коммерческий успех пионера массового автомобилестроения Г. Форда был достигнут во многом благодаря тому, что собственно коммерческий успех был далеко не единственной целью предприятия. Форд осознавал, что организация массового производства и эксплуатации доступных автомобилей[67] и тракторов решает целый комплекс различных проблем американского общества (впрочем, также создает множество новых проблем и рисков, анализ которых целесообразно проводить заранее). Аналогично, необходимо искать возможности комплексного решения с помощью авиации транспортных, а также иных народнохозяйственных задач, социально-экономических, экологических и др. проблем общества. Более подробно некоторые возможности такого рода обсуждаются в следующих главах.

Сказанное ни в коем случае не означает, что при разработке стратегии развития российского авиастроения не следует учитывать стратегии развития зарубежных конкурентов. Однако их не следует и копировать, а также подстраиваться под них, лишь реагируя на действия конкурентов. «Реактивный» принцип разработки продуктовой стратегии в известном смысле неизбежен в военном секторе, поскольку изделия конкурирующих производителей создаются именно для обеспечения победы в возможном прямом противоборстве друг с другом. Так, создание семейства истребителей Су-27 происходило под непосредственным влиянием американской

[67] Кроме того, ориентируясь на массового потребителя, Форд практически не составлял конкуренции тогдашним лидерам автомобилестроения, поскольку их продукция имела элитарный характер.

программы F-15, подробнее см. [61]. В свою очередь, Су-27 оказал решающее воздействие на формирование требований к американскому истребителю пятого поколения F-22, и даже на принятие решений о его создании и объемах выпуска. Что касается гражданского сектора, во-первых, в настоящее время реакция на действия соперников носит односторонний характер, а компании-лидеры мирового гражданского авиастроения вообще не учитывают российскую авиапромышленность в своих прогнозах и стратегиях. Во-вторых, в гражданском секторе описанный «реактивный» принцип вовсе не является неизбежным. Как показано в п. 4.2.5, конкуренты могут разойтись по разным рыночным нишам, в которых, возможно, будут оказывать очень слабое влияние друг на друга, поскольку отечественному авиастроению целесообразно сосредоточить свои усилия на создании принципиально новых типов авиатехники, необходимых, прежде всего, в России, а не на рынках наиболее развитых стран мира.

## 4.3. Особенности управления инновационными проектами в гражданском авиастроении

В п. 2.1.3 показано, что достижение российскими авиастроительными предприятиями «прорывного» превосходства над зарубежными конкурентами и выход на новые или утерянные рынки, а тем более, освоение принципиально новых ниш рынка гражданской авиатехники, не могут быть достигнуты за счет имеющегося научно-технологического задела. Российская авиационная промышленность объективно заинтересована в инновациях потому, что для нее вывод на рынки «прорывной» продукции или освоение принципиально новых рыночных ниш – единственные возможности выживания в глобальном конкурентном окружении. Поскольку возможности развития традиционных технологий практически исчерпаны, приходит время высокорисковых, радикальных инноваций. Их планирование и реализация обладают рядом важных особенностей.

### *4.3.1. Риски реализации инновационных проектов в авиастроении*

Традиционно принято считать, что реализация инновационных проектов, обладающих большой степенью технологической новизны, сопряжена с высокими рисками (см., например, [13, 39, 62]). Однако, как показывает проведенный выше анализ, в нынешней ситуации традиционные конструктивно-технологические решения заведомо не обеспечивают объемов спроса на продукцию, достаточных для рентабельной реализации новых проектов. Т.е. консервативные «низкорисковые» решения гарантируют провал. В этих условиях риск, т.е. возможность неблагоприятного исхода[68] реализации инновационных решений, неизбежен и, в то же время, вполне приемлем.

[68] См., например, определение риска, данное в монографии [69].

Согласно распространенной классификации научно-исследовательских работ (НИР) [39], фундаментальные НИР направлены на открытие новых явлений, законов природы, и т.п. Как правило, они характеризуются отложенным во времени эффектом и проводятся не в интересах конкретных компаний или проектов, а в интересах отрасли и страны в целом. Поэтому вопросы их организации (чрезвычайно сложные и специфические) не входят в сферу интересов инновационного менеджмента. Возможность же достижения «прорывного» улучшения параметров продукции на основе имеющегося фундаментального научного задела определяется в ходе т.н. *поисковых НИР*. Именно их организации здесь уделяется первостепенное внимание. Когда уже определены решения, необходимые для достижения целевого уровня характеристик перспективной продукции, начинаются *опытно-конструкторские работы* (ОКР) и технологическая подготовка производства (ТПП). Их реализация поддается относительно точному прогнозированию и планированию, подробнее см. [39]. Но поисковые исследования, нацеленные на поиск «прорывных» решений или освоение принципиально новых рыночных ниш, могут завершиться успехом[1] в случайный момент времени. Поэтому инновационные разработки сопряжены со следующими основными видами рисков (если считать, что целевой уровень параметров перспективной продукции достижим на базе имеющегося фундаментального задела, и будет рано или поздно достигнут):

1) перерасход средств на разработку продукта;

2) затягивание сроков разработки продукта.

Традиционно первоочередное внимание уделяется первому виду рисков (см., например, [13]), однако, как показано в п. 4.2.4, на рынках авиатехники решающее значение приобретает именно временн**о**й фактор. Запаздывание выхода продукта на рынок может привести к убыточности проекта. Тем не менее, в условиях жестких финансовых ограничений перерасход средств на НИОКР и ТПП может привести не только к убыточности, а к прекращению реализации проекта – даже потенциально выгодного. Поскольку, как отмечено выше, трудно предсказать, в какие сроки будет достигнут успех поисковых НИР, трудно прогнозировать потребный объем их финансирования. Также сложно прогнозировать затраты на доводку революционных технологий, потребные для массового и безопасного внедрения этих технологий в хозяйственную практику. Нельзя не согласиться с автором работы [13] в том, что высокотехнологичные инновационные проекты представляют собой сложные саморазвивающиеся системы, развитие которых не поддается детальному планированию на начальных стадиях ЖЦ. Таким образом, неопределенность затрат на НИОКР, потребных для достижения «прорывного» превосходства новой технологии над ны-

[1] Следует подчеркнуть, что под успехом подразумевается разработка инновационного продукта с заданным (причем, «прорывным») уровнем характеристик – в противном случае, как показано выше, его создание и вывод на рынок могут быть заведомо бессмысленными.

нешними или для освоения принципиально новых рыночных ниш, может быть чрезвычайно велика. В мировой практике реализации «прорывных» наукоемких проектов встречаются примеры перерасхода средств на НИОКР на десятки процентов и даже в несколько раз, см. [13]. Однако эти затраты относятся к постоянным, и при массовом применении новой технологии распределятся на большие объемы продукции. Тогда их вклад в среднюю себестоимость единицы продукции, равный средним постоянным затратам, окажется относительно невелик. Соответственно, риск даже многократного изменения этих затрат не будет существенно влиять на успешность проекта. Важнее гарантированно достичь целевого уровня характеристик перспективной продукции, поскольку он, в первую очередь, и определяет возможность массового распространения новой технологии.

Рассмотрим следующий пример, см. рис. 4.12. В настоящее время важнейшей составляющей эксплуатационных затрат авиакомпаний являются затраты на авиатопливо. Современные дальнемагистральные пассажирские самолеты (Boeing-777-300ER, A-330, A-340) обеспечивают удельный расход топлива в расчете на пассажиро-километр на уровне 25 г./пасс.-км., что при цене авиатоплива порядка 1000 долл./т обеспечивает удельные затраты на авиатопливо на уровне 0,025 долл./пасс.-км. Пусть предлагается новое технологическое решение, позволяющее сократить удельный расход топлива на дальних маршрутах на 20 % относительно текущего уровня[1]. Однако возможные затраты на доводку новой технологии (в т.ч. показателей безопасности) до уровня, позволяющего сертифицировать ее для пассажирских перевозок, являются в настоящее время чрезвычайно неопределенными. Возможно, они составят 10 млрд долл., но в пессимистическом варианте может потребоваться до 20 млрд, т.е. возможный прирост затрат на НИОКР составляет 100 %. Разумеется, разница в 10 млрд долл. чрезвычайно высока, однако так ли она существенна с точки зрения экономической эффективности новой технологии? Если на дальних маршрутах выполняется около 25 % всего пассажирооборота гражданской авиации, составляющего в настоящее время около 4 трлн пасс.-км. в год, новая технология потенциально может применяться в объеме 1 трлн пасс.-км. в год (даже без учета возможного роста пассажирооборота в будущем). Если длительность жизненного цикла новой технологии равна хотя бы 20 годам (что соответствует длительности ЖЦ одного поколения гражданской авиатехники), прирост средних постоянных затрат, вызванный внедрением новой технологии, составит:

- в оптимистическом сценарии – 0,0005 долл./ пасс.-км.;
- в пессимистическом сценарии – 0,001 долл./ пасс.-км.

[1] В качестве такого решения, в частности, рассматривается дозаправка гражданских самолетов в воздухе, подробнее см. [50, 71, 156].

Однако ожидаемое сокращение удельных топливных затрат составляет, даже при нынешней цене авиатоплива, 0,005 долл./ пасс.-км., что на порядок выше возможного прироста средних постоянных затрат.

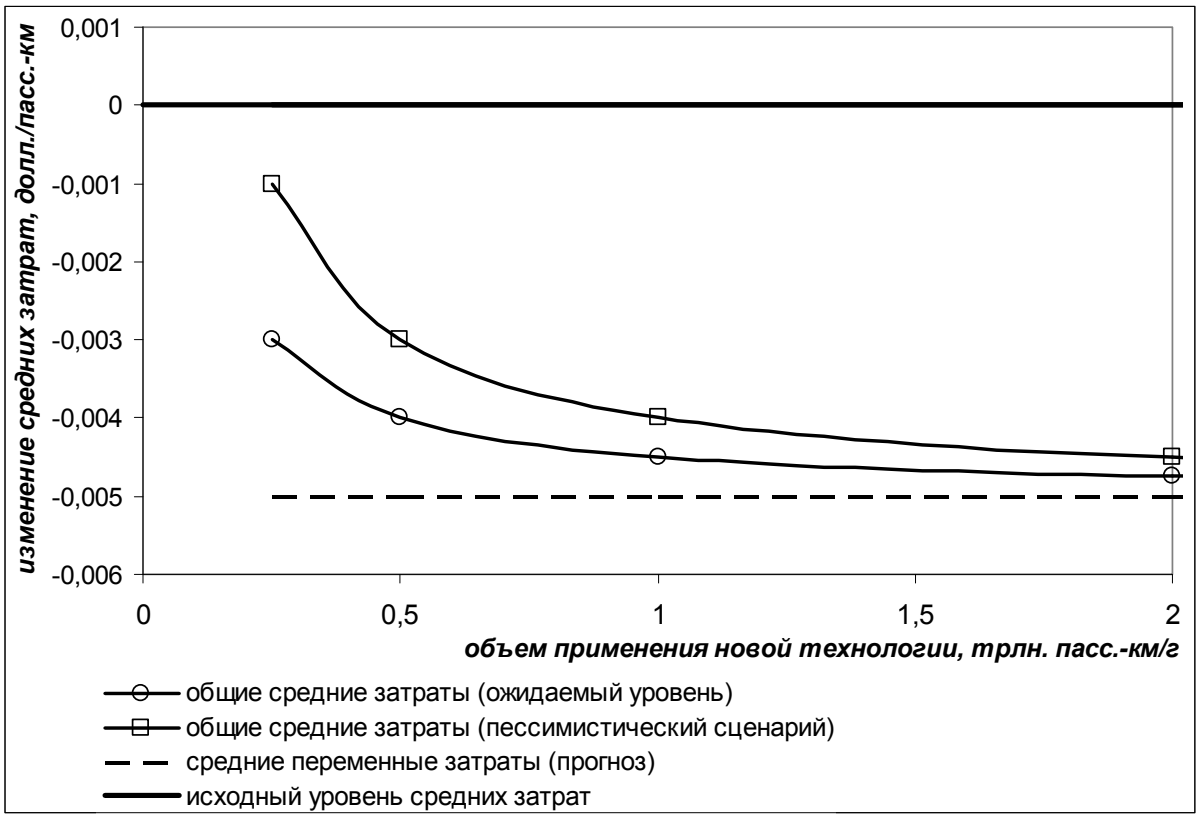


Рис. 4.12. Влияние риска изменения постоянных затрат на эффективность инновационной технологии

Таким образом, предпочтительнее добиться – даже ценой удвоения затрат на НИОКР – того, чтобы удельный расход топлива действительно сократился на 20 %, чем, например, достичь 15 %-го снижения расхода, затратив ровно 10 млрд долл. Риск недостижения целевого уровня характеристик перспективной продукции (в данном случае, эксплуатационных затрат) гораздо существеннее риска перерасхода средств на НИОКР. Принятие этого положения требует коренных изменений в менталитете инвесторов и менеджеров.

### *4.3.2. Эффективность диверсификации поисковых НИР в авиастроении*

Жесткая временн**а**я конкуренция на рынках гражданской авиатехники требует использования специфических стратегий инновационной деятельности. Традиционно рекомендуется (см., например, [39]) сосредоточить усилия и ресурсы компании на наиболее перспективном направлении исследований и разработок. Однако основная проблема состоит в определении такого направления. Даже если бы это было принципиально возможно,

выделение приоритетов неизбежно сопряжено с внутрифирменными конфликтами (подробнее см. [137]), в которых далеко не всегда одержат верх сторонники действительно наилучшего варианта. Но важнейшая особенность поисковых НИР состоит именно в том, что их успех не гарантирован, и время достижения успеха является чрезвычайно неопределенным. Как показано в п. 4.2, ориентация на единственный – даже весьма перспективный – сегмент рынка авиатехники может быть весьма рискованной. При этом учитывались только рыночные риски, а технические не принимались во внимание. Если же речь идет о фундаментальных и поисковых НИР, выбор единственного направления может быть недопустимо рискованным. Поэтому, вопреки общепринятым рекомендациям, игнорирующим эту особенность, может оказаться целесообразным диверсифицировать поисковые исследования, одновременно начиная поиск «прорывных» решений в нескольких направлениях. Даже если каждый поисковый проект в отдельности имеет мало шансов увенчаться успехом, ожидаемое время достижения желаемого результата хотя бы в одном проекте может снижаться с ростом их количества. Для иллюстрации этого эффекта можно предложить следующую упрощенную модель, разработанную совместно с Н.В. Ивановой [58]. Предположим, фирма запустила $n$ поисковых проектов, нацеленных на достижение «прорывного» превосходства новой продукции над старой, или на освоение принципиально новой ниши рынка авиатехники. Обозначим $\tau$ среднее время достижения успеха (т.е. целевого уровня характеристик перспективной продукции) в единичном поисковом проекте. Тогда можно приближенно считать, что вероятность достижения успеха в течение года равна $\frac{1}{\tau}$, вероятность недостижения успеха – $\left(1-1/\tau\right)$. Если реализуемые параллельно проекты независимы друг от друга, вероятность того, что ни в одном проекте в течение года не будет достигнуто успеха, равна $\left(1-1/\tau\right)^n$. Соответственно, вероятность успеха хотя бы одного поискового проекта в течение года равна $\left[1-\left(1-1/\tau\right)^n\right]$. Естественно, если хотя бы в одном проекте удается достичь целевого уровня характеристик, вся программа НИР считается успешно завершенной. Таким образом, можно оценить вероятность достижения успеха поисковых НИР ровно через $T_{\text{НИР}}$ лет:

$$P\{T_{\text{НИР}}\}=\left[1-\left(1-1/\tau\right)^n\right]\left(1-1/\tau\right)^{n(T_{\text{НИР}}-1)}, \qquad (4.22)$$

поскольку данное событие является сочетанием следующих событий:

- в течение $\left(T_{\text{НИР}}-1\right)$ лет ни в одном поисковом проекте не удается достичь успеха;

- в году $T_{\text{НИР}}$ успех достигается хотя бы в одном проекте.

Зная вероятности достижения успеха поисковых НИР в различные сроки (например, определяя их по формуле (4.22)), можно оценить ожидаемую продолжительность этапа НИР:

$$\overline{T}_{\text{НИР}} = \sum_{T=1}^{+\infty} T \cdot P\{T\} = \frac{1}{1-\left(1-1/\tau\right)^{n}}. \qquad (4.23)$$

Она обратно пропорциональна вероятности достижения успеха в течение года хотя бы в одном проекте. С ростом числа одновременно реализуемых проектов НИР, ожидаемый срок достижения успеха сокращается: $\frac{\partial \overline{T}_{\text{НИР}}}{\partial n} < 0$.

Однако увеличение числа направлений НИР требует увеличения затрат. Следует подчеркнуть, что диверсификация поисковых исследований ни в коем случае не подразумевает распыления средств, достаточных для проведения лишь одного полноценного исследования. Такая политика (к сожалению, проводившаяся во российской авиационной промышленности в 1990-е гг.) в принципе не может быть успешной, и ведет лишь к неэффективному использованию ограниченных средств. Напротив, каждый поисковый проект должен финансироваться в полном объеме до тех пор, пока хотя бы одно из направлений поиска не приведет к успеху (а, возможно, и после этого). Естественно, при этом ожидаемый объем финансирования поисковых НИР увеличивается с ростом числа направлений поиска, но относительно медленно, поскольку сокращается ожидаемая продолжительность поиска. Обозначим $c_{\text{проект}}$ среднегодовой объем финансирования, необходимый для полноценного продолжения одного поискового исследовательского проекта. Тогда ожидаемые затраты на поисковые НИР можно оценить, учитывая формулу (4.23), следующим образом:

$$\overline{C}_{\text{НИР}} = c_{\text{проект}} \cdot n \cdot \overline{T}_{\text{НИР}}(n) = \frac{c_{\text{проект}} \cdot n}{1-\left(1-1/\tau\right)^{n}}, \qquad (4.24)$$

где произведение $\left(n \cdot \overline{T}_{\text{НИР}}\right)$ имеет смысл объема НИР в «проекто-годах». Поскольку знаменатель полученной дроби монотонно возрастает с ростом $n$, ожидаемые затраты увеличиваются медленнее, чем число одновременно реализуемых проектов.

На рис. 4.13 рассмотрен следующий пример: $\tau$ = 5 лет, т.е. каждое направление поисковых исследований с вероятностью 20 % приведет к успеху в течение года, а с вероятностью 80 % – не приведет. Если исследования вести в единственном направлении, ожидаемый срок достижения результата составит 5 лет; если вести поиск одновременно в двух направлениях, этот срок сократится приблизительно до 2,8 лет, и т.д., см. формулу (4.23). Что касается затрат на НИР, то они, как и было обосновано выше, возрастают медленнее, чем количество поисковых проектов: если реализу-

ется единственный проект, ожидаемый объем затрат соответствует 5 «проекто-годам», при двух проектах он возрастет приблизительно до 2·2,8 = 5,6 «проекто-лет», и т.д., согласно формуле (4.24).

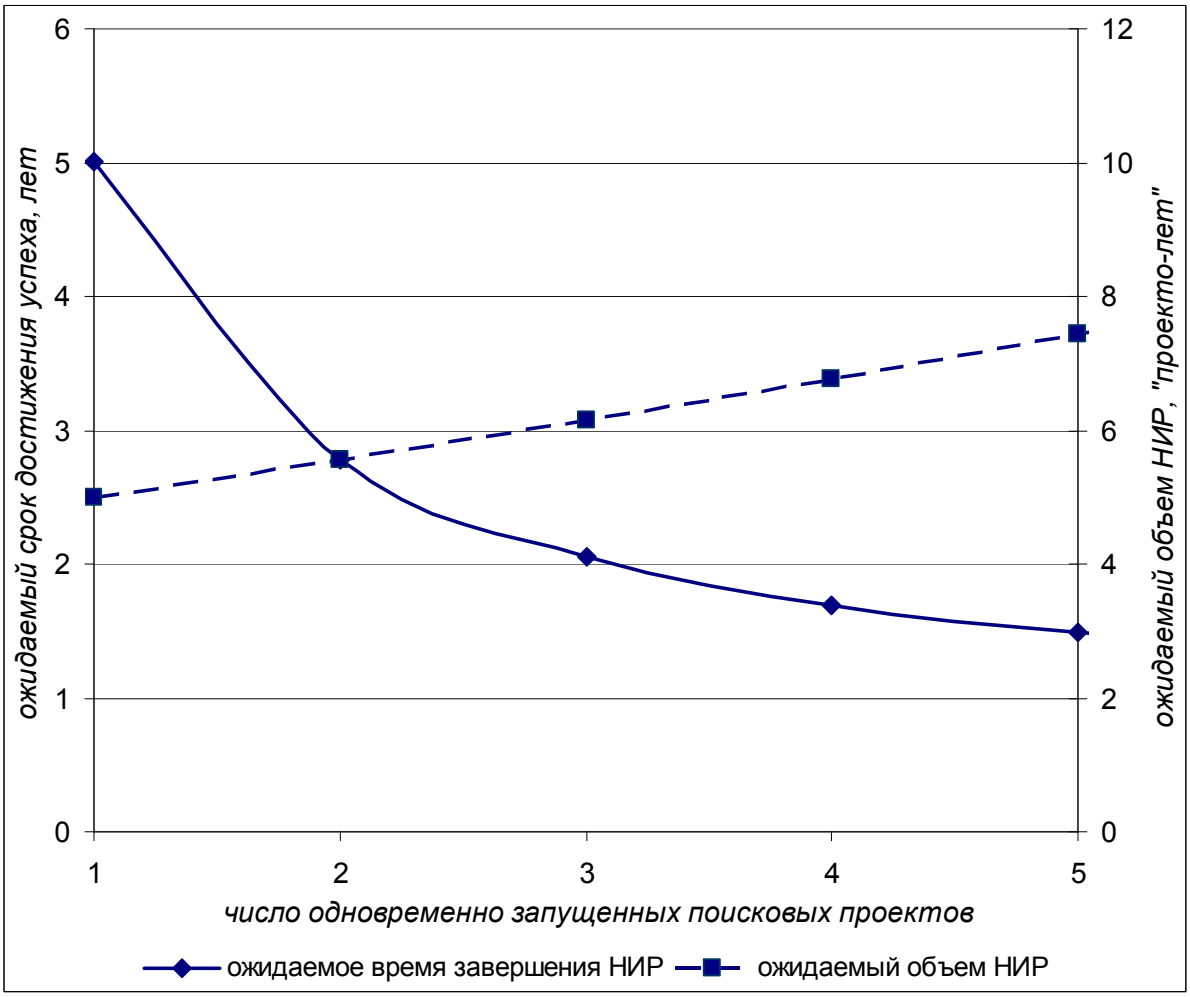


Рис. 4.13. Влияние диверсификации поисковых исследований на ожидаемую длительность и стоимость НИР

Как отмечено в [39], достижение успеха исследовательского проекта может быть до определенной степени форсировано за счет дополнительного финансирования (т.е. $\frac{\partial \tau}{\partial c_{\text{проект}}} < 0$). Пользуясь предложенной моделью, можно оценить, что выгоднее – форсирование НИР или их диверсификация. Рассмотрим две альтернативы: вести поисковые исследования в $n$ направлениях, каждое из которых обещает успех, в среднем, через $\tau$ лет, либо ограничиться единственным направлением поиска, но сократить ожидаемый срок достижения результата в $n$ раз за счет дополнительного финансирования. Согласно формуле (4.23), в первом случае ожидаемая длительность этапа поисковых НИР составит

$$\overline{T}_{\text{НИР}}\Big|_{\tau;n}=\frac{1}{1-\left(1-1/\tau\right)^{n}}=\frac{1}{\left[1-\left(1-1/\tau\right)\right]\cdot\sum\limits_{i=1}^{n}\left(1-1/\tau\right)^{i-1}}=\frac{\tau}{\sum\limits_{i=1}^{n}\left(1-1/\tau\right)^{i-1}};\ \tau>1,$$

а во втором –

$$\overline{T}_{\text{НИР}}\Big|_{\frac{\tau}{n};1}=\frac{1}{1-\left(1-n/\tau\right)}=\frac{\tau}{n}.$$

Поскольку при $\tau>1,\ \left(1-1/\tau\right)<1,\ \Rightarrow\sum\limits_{i=1}^{n}\left(1-1/\tau\right)^{i-1}<n,$ и $\overline{T}_{\text{НИР}}\Big|_{\frac{\tau}{n};1}<\overline{T}_{\text{НИР}}\Big|_{\tau;n}$, т.е. ожидаемая длительность НИР при форсировании заведомо ниже, чем при диверсификации. Однако в реальности увеличение финансирования редко приводит к пропорциональному сокращению ожидаемого срока получения результата. Как правило, вложения в форсирование работ (в т.ч., НИОКР) характеризуются убывающей предельной отдачей. Если сокращение в $n$ раз ожидаемого срока достижения успеха в одном проекте потребует увеличения ежегодного финансирования проекта в $x>n$ раз, ожидаемые затраты на диверсифицированные НИР составят

$$\overline{C}_{\text{НИР}}\Big|_{\tau;n}=n\cdot c_{\text{проект}}\cdot\overline{T}_{\text{НИР}}\Big|_{\tau;n}=n\cdot c_{\text{проект}}\cdot\frac{\tau}{\sum\limits_{i=1}^{n}\left(1-1/\tau\right)^{i-1}},$$

а на форсированные –

$$\overline{C}_{\text{НИР}}\Big|_{\frac{\tau}{n};1}=x\cdot c_{\text{проект}}\cdot\overline{T}_{\text{НИР}}\Big|_{\frac{\tau}{n};1}=x\cdot c_{\text{проект}}\cdot\frac{\tau}{n},$$

и $\overline{C}_{\text{НИР}}\Big|_{\tau;n}<\overline{C}_{\text{НИР}}\Big|_{\frac{\tau}{n};1}$ (т.е. диверсификация поисковых исследований приведет к сокращению ожидаемой стоимости НИР) при $x>\dfrac{n}{\sum\limits_{i=1}^{n}\left(1-1/\tau\right)^{i-1}}$. Также важно учесть, что при диверсификации сокращается риск увеличения длительности НИР сверх ожидаемых значений, и, как следствие – риск запаздывания выхода на рынок относительно конкурентов. В ряде областей (прежде всего, в военной) последствия такого запаздывания не измеряются лишь финансовыми потерями. Поэтому, например, головное исследовательское ведомство министерства обороны США – DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency, т.е. агентство по перспективным оборонным исследовательским проектам) реализует приблизительно такую стратегию, которая обоснована в данном разделе, т.е. поддерживает широкий спектр высокорисковых поисковых исследований. Они проводятся в различных областях науки и техники, и не только в интересах авиации. Но по-

скольку результаты подобных поисковых НИР, как правило, имеют двойное назначение (см., например, [121]), деятельность DARPA оказывает и непосредственное воздействие на инновационное развитие гражданского авиастроения США.

Разумеется, предлагаемая модель носит чрезвычайно упрощенный характер. В реальности распределение срока достижения успеха проекта может быть существенно сложнее, чем предполагаемый здесь пуассоновский поток[1] с интенсивностью $\frac{1}{\tau}$. Вообще, как известно специалистам в сфере менеджмента исследований и разработок (см. [13, 39, 62]), реализация НИР сопровождается множеством сложнейших и не всегда формализуемых эффектов. Например, вопреки принятым в модели предположениям, параллельно реализуемые исследовательские проекты могут оказывать друг на друга влияние (даже при независимом финансировании) посредством общения различных групп исследователей, взаимообмена плодотворными (или ошибочными) идеями, и т.п. Поисковые проекты могут запускаться не одновременно, а по мере появления новых перспективных идей (в т.ч., в ходе разработки уже начатых направлений). Тем не менее, по мнению авторов, данная модель на качественном уровне адекватно отражает возможный эффект диверсификации направлений поисковых НИР. При этом она допускает уточнение путем использования более адекватных законов распределения времени достижения успеха (в т.ч., построенных на основе реальных статистических данных), учета взаимосвязей между отдельными параметрами, и т.п.

Можно найти оптимальный уровень диверсификации поисковых НИР, при котором повышение ожидаемых затрат на поисковые исследования оправдано выигрышем в описанной выше временно**й** конкуренции. Для этого предлагается следующая модель, разработанная совместно с Н.В. Ивановой [58]. Временну**ю** конкуренцию двух производителей – $A$ и $B$ – можно представить как биматричную игру, в которой стратегиями игроков являются количества запущенных ими поисковых проектов $n^A$ и $n^B$, а целевыми функциями – ожидаемые значения прибыли[2] за весь ЖЦИ длительностью $T_{\text{ЖЦИ}}$. Можно считать, что по истечении времени $T_{\text{ЖЦИ}}$ создаваемое сейчас поколение изделий морально устареет, и на смену ему придет принципиально новое поколение. Важно подчеркнуть, что некорректно вычислять ожидаемые значения объемов продаж, выручки, затрат и при-

[1] В то же время, из теории случайных процессов известно, что если поток случайных событий (в данном случае – поток успехов диверсифицированных НИР) является суммой многих потоков случайных событий с произвольными законами распределения, его закон распределения с ростом числа суммируемых потоков (т.е. в терминах модели – если число проектов будет увеличиваться) асимптотически приближается к пуассоновскому.

[2] В силу большой длительности ЖЦИ в наукоемких отраслях, необходимо учитывать временну**ю** стоимость денег. Поэтому в практических расчетах более корректно использовать вместо прибыли чистую текущую стоимость (NPV, Net Present Value) портфеля проектов фирмы.

были каждого игрока на основе ожидаемой продолжительности НИР и ожидаемого срока выхода на рынок. Поскольку успех поисковых НИР достигается в случайный момент времени, вполне возможна такая ситуация, когда игрок, запустивший меньшее количество поисковых проектов, чем его соперник, тем не менее, раньше достигнет успеха. Поэтому предлагается оценивать ожидаемые значения прибыли фирм по следующему алгоритму.

а) Вычислим вероятность того, что фирма *A* выйдет на рынок в момент $T^A$, а фирма *B* – в момент $T^B$, по следующей формуле:

$$P\left\{T^A;T^B\right\}=\begin{cases} 0,\ T^A<T^A_{\text{ОКР}}+T^A_{\text{ТПП}}+1,\text{ или }\ T^B<T^B_{\text{ОКР}}+T^B_{\text{ТПП}}+1 \\ P\left\{T^A_{\text{НИР}}=T^A-T^A_{\text{ОКР}}-T^A_{\text{ТПП}}\right\}\cdot P\left\{T^B_{\text{НИР}}=T^B-T^B_{\text{ОКР}}-T^B_{\text{ТПП}}\right\} \end{cases}, \quad (4.25)$$

где $T^A_{\text{ОКР}}$, $T^B_{\text{ОКР}}$ – продолжительности ОКР на фирмах *A* и *B*;

$T^A_{\text{ТПП}}$, $T^B_{\text{ТПП}}$ – продолжительности технологической подготовки производства на фирмах *A* и *B*;

вероятности $P\left\{T^A_{\text{НИР}}\right\}$, $P\left\{T^B_{\text{НИР}}\right\}$ оцениваются по формуле (4.22) и, соответственно, зависят от числа поисковых проектов, начатых фирмами *A* и *B*, $n^A$ и $n^B$.

б) Оценим, пользуясь какими-либо детерминированными моделями (наподобие используемых в п. 4.2.2), значения объемов продаж, выручки, затрат, и, в конечном счете – прибыли каждой фирмы в том случае, если фирма *A* выйдет на рынок в момент $T^A$, а фирма *B* – в момент $T^B$: $\left\{\Pi^A\left(T^A;T^B\right)\right\}$, $\left\{\Pi^B\left(T^A;T^B\right)\right\}$, $T^A,T^B=1,...T_{\text{ЖЦИ}}$. Если прибыль какой-либо фирмы при данных значениях $\left(T^A,T^B\right)$ окажется отрицательной, проявится описанный выше эффект блокировки, и в реальности данная фирма вообще не будет выходить на рынок. В этом случае необходимо скорректировать результаты расчета для обеих фирм с учетом того, что аутсайдер вообще не выйдет на рынок и, таким образом, не составит конкуренции лидеру. Для корректного учета эффекта блокировки в предлагаемой игровой модели необходимо предусмотреть следующие варианты:

- прекращение любой потенциально убыточной программы, либо, ее продолжение в том случае, если это позволяет минимизировать убытки;
- принятие решения о прекращении или продолжении программы в момент вывода лидером продукта на рынок, либо, в момент окончания НИР фирмой-лидером (информацию об этом может обеспечить *конкурентная разведка*[1], подробнее см., например. [39]).

в) Оценим, учитывая формулу (4.25), ожидаемые значения прибыли конкурирующих фирм по следующим формулам:

[1] Возможность непосредственного использования результатов НИР конкурентов здесь не рассматривается и, как правило, выходит за рамки закона, хотя в реальности промышленный шпионаж, бесспорно, используется в наукоемких отраслях чрезвычайно активно.

$$\overline{\Pi}^A = \sum_{T^A=1}^{T_{\text{ЖЦИ}}} \sum_{T^B=1}^{T_{\text{ЖЦИ}}} \Pi^A\left(T^A;T^B\right)\cdot P\left\{T^A;T^B\right\}; \tag{4.26}$$

$$\overline{\Pi}^B = \sum_{T^A=1}^{T_{\text{ЖЦИ}}} \sum_{T^B=1}^{T_{\text{ЖЦИ}}} \Pi^B\left(T^A;T^B\right)\cdot P\left\{T^A;T^B\right\}, \tag{4.27}$$

где значения $\left\{\Pi^A\left(T^A;T^B\right)\right\}$, $\left\{\Pi^B\left(T^A;T^B\right)\right\}$ для $T^A,T^B=1,...T_{\text{ЖЦИ}}$ определяются в п. (б). Далее можно составить платежные матрицы игроков, состоящие из элементов $\left\|\overline{\Pi}_{ij}^A\right\|$ и $\left\|\overline{\Pi}_{ij}^B\right\|$, где номер строки соответствует количеству поисковых проектов, запущенных фирмой *A*, а номер столбца – количеству направлений поисковых НИР фирмы *B*: $i=n^A$, $j=n^B$. Равновесием Нэша в описанной биматричной игре является такое сочетание стратегий $\left(n_*^A,n_*^B\right)$, от которого никому не выгодно отклоняться в одностороннем порядке.

Поскольку расчеты по предлагаемым моделям предполагают большой объем вычислений, они были автоматизированы с помощью программы, разработанной Н.В. Ивановой в среде MATLAB. Рассмотрим следующий пример, параметры которого по порядку величины соответствуют реальной временно**й** конкуренции на рынке магистральных пассажирских самолетов. Пусть общая продолжительность ЖЦИ данного поколения изделий составляет 20 лет; цена на монопольном рынке – 120 млн долл./ед., на конкурентном – 100 млн долл./ед. Объемы продаж составляют соответственно 250 и 300 ед./г., причем, в период конкуренции обе фирмы займут по 50 % рынка. У обеих фирм детерминированная продолжительность ОКР и ТПП равна 5 годам, а постоянные затраты на ОКР и ТПП равны 4 млрд долл. Удельные материальные затраты составляют 50 млн долл./ед., а стоимостные трудозатраты на первый экземпляр равны 100 млн долл., и сокращаются на 15 % при каждом удвоении накопленного выпуска. Будем считать, что фирмы прекращают любые убыточные проекты (несмотря на возможность минимизации убытков при продолжении проекта), узнавая об успехе конкурента в момент выхода его продукта на рынок.

Поскольку параметры функций затрат обоих игроков одинаковы, равновесие Нэша будет симметричным: $n_*^A=n_*^B=n_*$, $\overline{\Pi}_*^A=\overline{\Pi}_*^B=\overline{\Pi}_*$. Рассмотрим влияние некоторых параметров модели на равновесное количество направлений поиска и равновесные значения выигрыша. На рис. 4.14 изображена зависимость равновесного количества направлений поиска $n_*$ от потребного среднегодового объема финансирования одного проекта $c_{\text{проект}}$. Среднее время достижения успеха в одном проекте $\tau$ принято равным 3 годам.

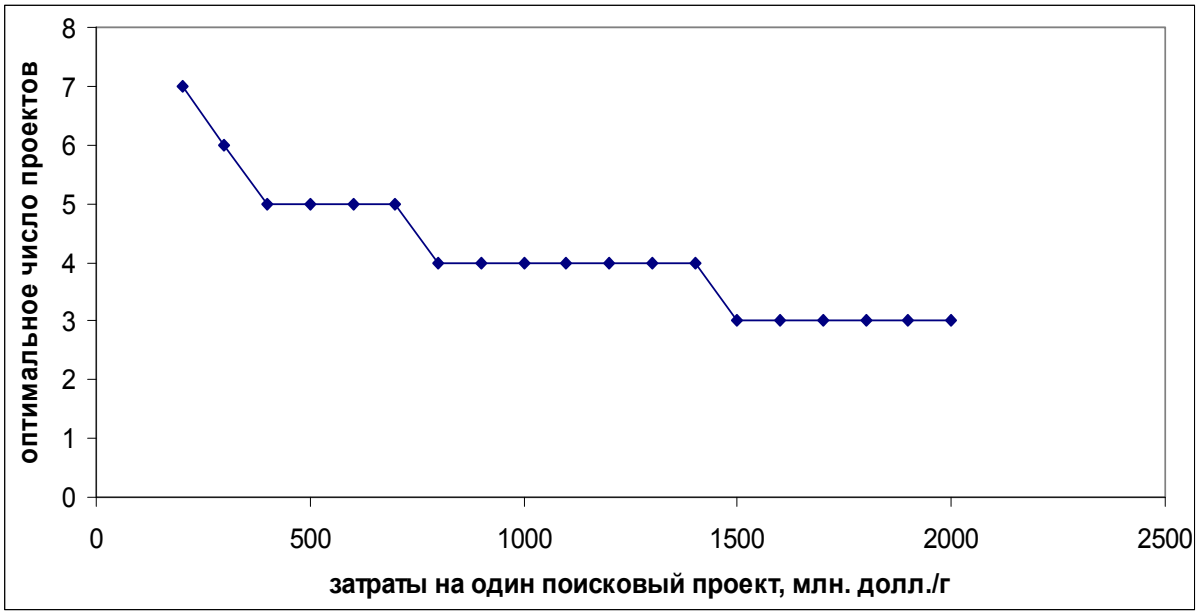


Рис. 4.14. Влияние стоимости финансирования поискового проекта на равновесные стратегии конкурентов

Естественно, чем дешевле обходятся поисковые исследования, тем больше направлений поиска целесообразно реализовать одновременно. На рис. 4.15 изображена зависимость равновесного количества направлений поиска $n_*$ от ожидаемого времени достижения успеха в одном проекте $\tau$. Потребный объем финансирования одного проекта $c_{\text{проект}}$ принят равным 500 млн долл./г. Все остальные исходные данные соответствуют предыдущему примеру.

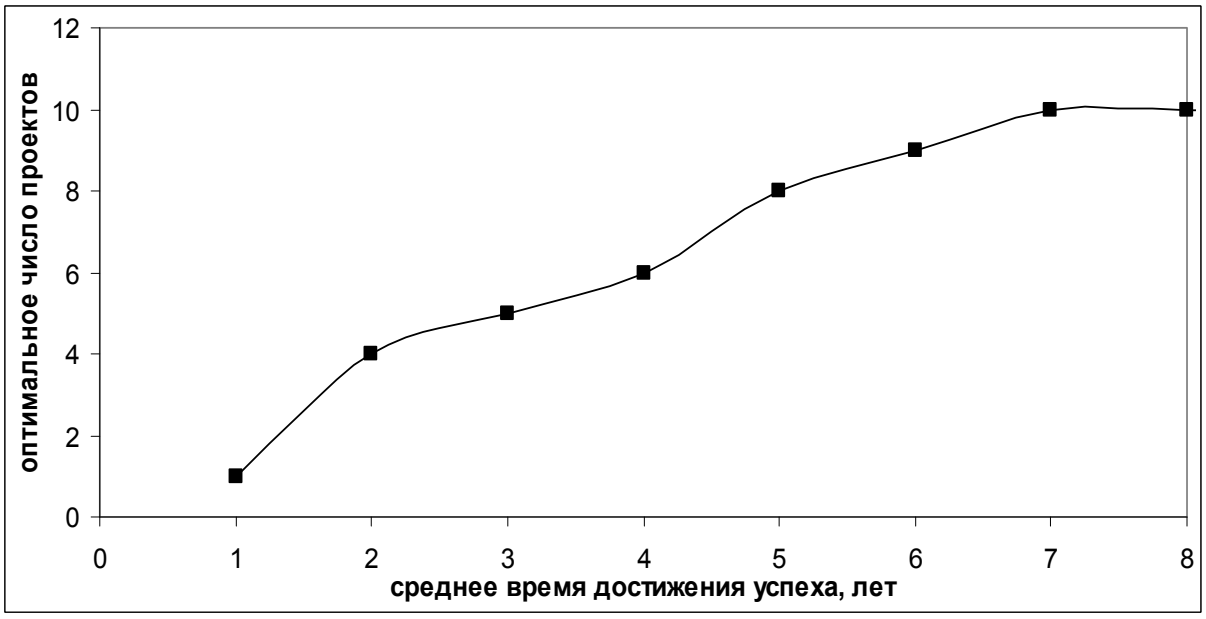


Рис. 4.15. Влияние среднего времени достижения успеха поискового проекта на равновесные стратегии конкурентов

Практический интерес представляет число направлений поиска $n$, не превышающее 2–5. Оно ограничено сверху не только по соображениям дороговизны НИР, но и отсутствием в реальности большого числа возможных независимых направлений поиска (как правило, их не более 2–5), а также – что, возможно, наиболее критично – дефицитом квалифицированных исследователей, способных вести соответствующие поисковые разработки. Важно подчеркнуть, что этот дефицит наблюдается в глобальном масштабе, и не может быть преодолен за короткое время никаким увеличением текущего финансирования.

На рис. 4.16 изображена зависимость равновесной прибыли каждого из игроков $\overline{\Pi}_*$ от ожидаемого времени достижения успеха в одном проекте $\tau$. Все исходные параметры соответствуют предыдущему примеру, однако учитывается, что число одновременно реализуемых каждой фирмой поисковых проектов не может превышать трех: $n \le 3$.

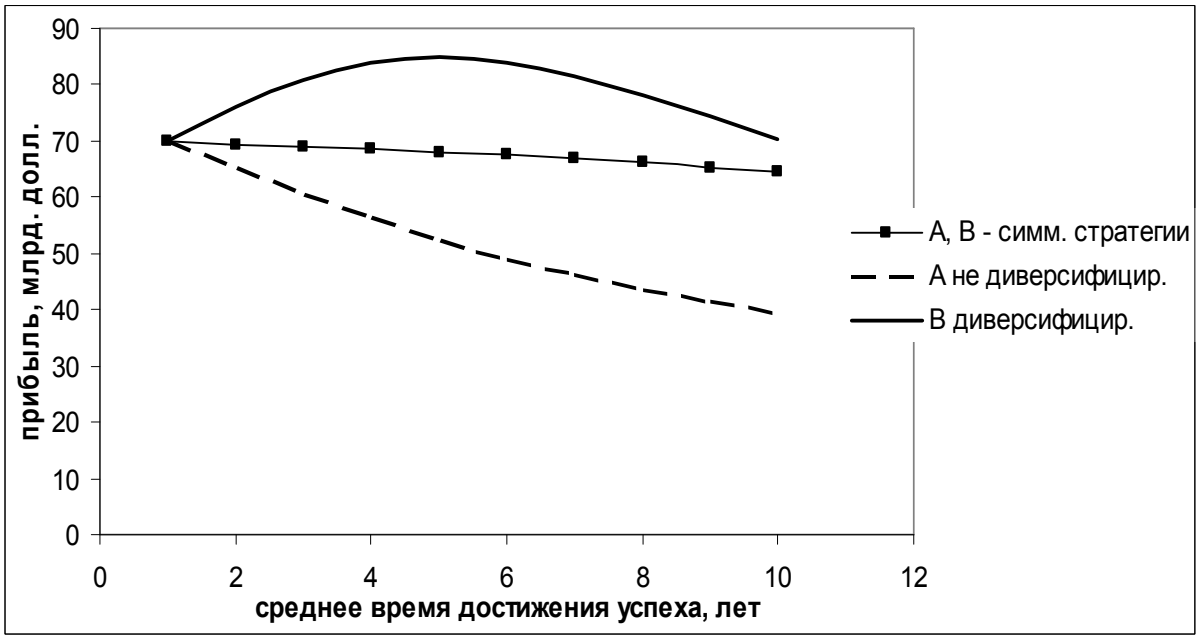


Рис. 4.16. Влияние среднего времени достижения успеха поискового проекта на равновесные выигрыши конкурентов

Видно, что возможность диверсификации НИР – даже в ограниченных пределах – существенно смягчает последствия увеличения ожидаемого времени достижения успеха. При симметричных стратегиях обеих фирм, их прибыли (маркированная линия) почти не убывают с ростом $\tau$. Для сравнения на том же рисунке приведены значения прибыли игроков в том случае, если фирма *A* всегда реализует единственный поисковый проект, а ее конкурент, компания *B*, диверсифицирует поисковые НИР оптимальным образом в рамках ограничения $n^B \le 3$. Значения прибыли фирмы

*A* изображены штриховой линией, фирмы *B* – сплошной. Анализ графиков показывает, что игрок, проводящий поиск в нескольких направлениях, существенно выигрывает, причем, вначале его прибыль может даже возрастать с ростом ожидаемого времени достижения успеха проекта. Причина такого немонотонного изменения прибыли лидера состоит в том, что сначала выигрыш во временн**о**й конкуренции оказывается существеннее ухудшения общих условий работы (т.е. роста $\tau$).

Внедрение новых исследовательских методов и технологий (прежде всего, компьютерного моделирования вместо натурного эксперимента, и т.п.) может привести к сокращению характерного срока достижения успеха $\tau$. Среднегодовая стоимость финансирования каждого поискового проекта $c_{\text{проект}}$ при этом может как сократиться, так и возрасти. Предлагаемые модели и полученные с их помощью зависимости $\overline{\Pi}_*(\tau)$ позволяют оценить, оправдано ли возможное удорожание НИР выигрышем во временн**о**й конкуренции.

В заключение следует подчеркнуть, что для достижения успеха необходимо проводить фундаментальные и поисковые исследования по всем дисциплинам авиационной науки – аэродинамики, динамики полета, прочности ЛА, газовой динамики, а также аэроакустики и авиационной экологии, роль которых отражена в п. 2.1.3 и главе 3.

**Выводы по главе 4**

1. Ориентация российского гражданского авиастроения исключительно на внутренний рынок, в принципе, может обеспечить достаточные объемы продаж авиатехники и рентабельность предприятий, но только в относительно оптимистических сценариях роста внутреннего рынка авиаперевозок – при сохранении средних темпов роста не менее 4...7 % в год на протяжении всего жизненного цикла изделий. Если же оптимистический прогноз не оправдается, велик риск существенного роста себестоимости отечественной продукции по причине малых объемов выпуска, что, в свою очередь, снизит ее конкурентоспособность.

2. Даже если внутренний рынок авиаперевозок и гражданской авиатехники является достаточно емким (что характерно, например, для США), национальной авиапромышленности целесообразно ориентироваться на глобальный рынок авиатехники. Диверсификация рынков сбыта в глобальных масштабах позволяет снизить риск падения текущего спроса на авиатехнику при нестабильности конъюнктуры региональных рынков авиаперевозок.

3. В случае повышения себестоимости российской авиатехники, применение пошлин на импорт авиатехники для защиты отечественных производителей приведет к повышению себестоимости авиаперевозок и снижению конкурентоспособности отечественных авиакомпаний. Выплата дотаций отечественным авиастроительным компаниям при условии поддержания низких отпускных цен на авиатехнику, хотя и требует дополнительных бюджетных расходов, позволяет избежать необходимости закрытия внутренних рынков авиатехники и авиаперевозок. Потребный объем дотаций не превышает стоимости разработки и технологической подготовки производства новых типов авиатехники. Государственная поддержка может быть оказана в форме гарантирования кредитов на разработку и подготовку производства перспективной авиатехники, при условии ее продажи по цене зарубежных аналогов независимо от конъюнктуры внутреннего рынка авиатехники.

4. Согласно результатам проведенных модельных расчетов, перспективные проекты российского гражданского авиастроения – региональный самолет SSJ и среднемагистральный самолет МС-21 – будут коммерчески эффективными лишь при условии, что отечественным производителям удастся занять не менее 15...20 % рынков региональных и среднемагистральных воздушных судов. Проектные параметры перспективных изделий российской авиапромышленности не позволяют считать их «прорывными», т.е. рассчитывать на досрочное списание современных зарубежных самолетов при появлении новых отечественных. Поэтому при насыщении рынков зарубежными гражданскими самолетами, отечественным авиастроителям можно рассчитывать только на заказы для увеличения провозных мощностей и компенсации выбытия самолетов, выработавших свой ресурс. Вероятность достижения рентабельных объемов продаж существенно снижается, если новые продукты выйдут на рынки позже намеченных сроков (SSJ – 2010 г., МС-21 – 2015–2016 гг.). Необходимо интенсифицировать реализацию приоритетных проектов российской авиапромышленности, в т.ч. и за счет прямой государственной финансовой поддержки авиастроительных предприятий.

5. Показано, что некоторые сегменты рынка гражданской авиатехники являются практически безрисковыми в том смысле, что зарубежные компании не будут конкурировать в этих сегментах с отечественным авиастроением, какую бы долю рынка они ни могли занять. Целесообразен поиск новых емких ниш рынка авиатехники, освоение которых позволит избежать непродуктивной и рискованной прямой конкуренции отечественной и зарубежной авиационной промышленности.

6. Долговременная стратегия развития российской авиационной промышленности должна формироваться не в качестве реакции на действия лидеров мирового авиастроения, а исходя из собственных интересов технологического и социально-экономического развития страны.

7. Поиск новых рыночных ниш, как и достижение «прорывного» превосходства над зарубежными конкурентами, требует активизации фундаментальных и поисковых НИР и осуществления на основе их результатов высокорисковых инновационных проектов. При разработке принципиально новых типов авиатехники наиболее существенными являются не риски перерасхода средств, а риски недостижения целевого уровня характеристик перспективной продукции и запаздывания ее выхода на рынок относительно конкурентов. Последний вид рисков можно сократить за счет диверсификации поисковых НИР. Для снижения рисков запаздывания, а также ожидаемой стоимости этапа НИР, диверсификация направлений поиска может оказаться эффективнее, чем форсирование НИР путем увеличения объемов финансирования.

# ГЛАВА 5. ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТУПНОСТИ АВИАПЕРЕВОЗОК И ЕМКОСТИ РЫНКОВ АВИАТЕХНИКИ

В п. 4.2 было показано, что перспективы прямой конкуренции российского гражданского авиастроении с зарубежным малопривлекательны, и было бы целесообразно найти новую, еще не занятую емкую нишу рынка гражданской авиатехники. В данной главе исследуются возможности открытия таких новых ниш рынка гражданской авиатехники. Возможно ли радикальное повышение доступности авиаперевозок и, соответственно, повышение спроса на авиатехнику? В то же время, радикальное повышение доступности перевозок, если оно в принципе достижимо, может быть сопряжено с неожиданными, по нынешним меркам, ограничениями и негативными последствиями. Необходимо оценить, насколько серьезными они могут оказаться.

## 5.1. Упрощенная структурная модель спроса на авиаперевозки

В предыдущих разделах этой книги пассажирооборот гражданской авиации рассматривался как экзогенная величина, и, например, в п. 1.3 прогноз объемов выпуска авиатехники базировался на статистических данных о динамике этого показателя. Однако прогнозирование емкости рынков новых видов транспортных услуг и скоростных транспортных средств уже требует рассматривать пассажирооборот как эндогенную величину, непосредственно моделируя ее изменение. Прогнозирование спроса на пассажирские перевозки представляет собой комплексную проблему. Предлагаемая в данной работе модель является чрезвычайно упрощенной и не претендует на высокую точность. Для предварительного анализа экономической эффективности НВТС, проводимого на ранних стадиях жизненного цикла, вполне достаточно оценить лишь порядок величины спроса на услуги гипотетического нового вида скоростного транспорта.

Дальние пассажирские перевозки (на расстояния от нескольких сотен километров) осуществляются несколькими видами транспорта: воздушным, железнодорожным, автобусным, водным. В экономически развитых странах мира в дальнем сообщении преобладают скоростные виды транспорта[1] – прежде всего, воздушный, а также скоростной железнодорожный. Последний вид транспорта в России в настоящее время практически не представлен, поэтому почти все скоростные пассажирские перевозки осуществляются авиатранспортом. Его роль в нашей стране является исключительной по причинам большой географической протяженности территории, а также слабого развития наземной транспортной инфраструктуры.

[1] В то же время, даже в развитых странах в дальнем сообщении широко применяется относительно тихоходный водный транспорт, причем, не только в рекреационных целях – например, морские паромы.

По цели дальние поездки обычно подразделяют на три категории [100]:

- деловые поездки (в командировки, к месту работы для вахтовых бригад, и т.п.);
- туристические поездки и поездки к месту отдыха;
- срочные поездки по личным мотивам.

Туристические поездки и поездки к месту отдыха составляют:

- согласно работе [12] – более 45 % общего объема перевозок российской гражданской авиации;
- согласно работе [72] – 60 %;
- согласно работе [68] – около 70 %.

Оставшаяся доля приходится на деловые поездки и срочные поездки по личным мотивам. Оценки доли поездок, совершаемых по тем или иным мотивам, различаются в силу различия статистических методик, выборок, а также периодов наблюдения. Приближенно можно считать, что на долю туристических поездок и поездок к месту отдыха в России приходится около половины поездок. Рассмотрим упрощенную модель формирования спроса на поездки данной категории, разработанную совместно с М.В. Нижник [88]. Пусть $M$ – среднемесячный денежный доход потребителя, $M_{\min}$ – прожиточный минимум, позволяющий удовлетворить наиболее насущные потребности. Разумеется, дальние поездки в туристических целях, на отдых, и т.п. не относятся к таковым. Поэтому потребители, имеющие доход ниже прожиточного минимума, вероятно, вообще не будут совершать дальних поездок любым видом транспорта. Предположим, что потребитель готов израсходовать на дальние поездки определенную долю дохода сверх прожиточного минимума, обозначаемую $\alpha$. В ряде работ делались попытки непосредственно оценить эту величину, однако результаты оценок варьируют на порядок и более. Так, например, в работе [72] долю расходов на дальние поездки принимают тождественной суммарной доле расходов домашних хозяйств на туристические и транспортные услуги, составлявшей в России, по данным авторов, около 12 %, однако правомерность такого подхода нуждается в дополнительном обосновании. В работе [109] были получены следующие результаты: суммарные расходы россиян на оплату услуг транспорта в 1999 г. составили 2,4 % общей величины потребительских расходов; в свою очередь на долю авиационного транспорта приходилось около 30 % транспортных расходов. Однако на протяжении 2000-х гг. душевые доходы россиян возрастали, и на рынке авиаперевозок имеет место восстановительный рост. Соответственно, доля расходов на авиаперевозки изменилась. В данной работе для оценивания величины $\alpha$ применяется следующий подход. Используются значения суммарной годовой выручки ОАО «РЖД» от дальних пассажирских перевозок [188], а также суммарной выручки авиакомпаний РФ от пассажирских авиаперевозок [185]. Сумма этих значений должна быть отнесена

к величине потребительских расходов населения РФ за вычетом прожиточного минимума [180]. Применение описанного подхода дает следующие результаты: на протяжении 2000-х гг. в России средняя доля расходов населения сверх прожиточного минимума на дальние железнодорожные перевозки составляла 1,3...1,5 %, на авиаперевозки – 3,5...4,5 %. По порядку величины эти значения не противоречат данным исследований [12, 72]. Итого суммарная доля расходов сверх прожиточного минимума на дальние поездки составляет порядка 5...6 %. Разумеется, получаемые описанным способом оценки весьма приблизительны в силу целого ряда упрощений (например, не учитывается, что российские авиакомпании и железные дороги обслуживают, в т.ч., иностранных граждан, а население России может пользоваться услугами зарубежных перевозчиков). Кроме того, любая среднестатистическая оценка доли расходов на дальние поездки не учитывает расслоения населения по доходам. При наличии соответствующих исходных данных, целесообразно использовать более детальные оценки доли расходов на дальние поездки для групп населения с различным уровнем среднедушевого дохода.

Предположим, что в рамках описанной выше доли бюджета, индивид

- один раз в год принимает решение о совершении туристической поездки на определенную дальность;
- выбирает оптимальный для данной поездки вид транспорта.

Принимая эти решения, пассажир руководствуется не только стоимостью поездки, но и временем в пути. В реальности, разумеется, выбор может быть продиктован и целым рядом других факторов, в т.ч., плохо поддающихся формализации, таких, как комфорт, безопасность, и т.п. При этом выбор оптимального вида транспорта может моделироваться с помощью функций полезности, включающих стохастические слагаемые, призванные учесть сложность и неоднозначность реального потребительского поведения. В ряде моделей рассматриваются стохастические составляющие аргументов функции полезности, подробнее см. [154]. Однако в данной работе предполагается, что в нынешней социально-экономической ситуации на поведение большинства потенциальных пассажиров сильнее всего влияют наиболее объективные факторы – длительность и стоимость поездки. Чтобы свести эти два нередко противоречивых критерия к одному, во многих работах, посвященных прогнозированию спроса на пассажирские перевозки (см., например, [117, 158, 169]), используется понятие *стоимости времени пассажира*. В качестве оценки этой величины $z$ принимается доход, который пассажир мог бы получить за единицу времени при альтернативном ее использовании, т.е. если бы он находился не в пути, а на рабочем месте. Обозначим $\beta$ коэффициент, связывающий стоимость часа времени пассажира и его среднемесячный доход:

$$z = \beta \cdot M \ . \qquad (5.1)$$

Например, если считать, что в одном месяце 25 рабочих дней, а рабочий день длится 8 часов, тогда $\beta = \frac{1}{200}$. В ряде работ (см., например, [161, 169]) справедливо отмечено, что объективная оценка стоимости времени пассажира затруднена. Прежде всего, время неоднородно, и, например, стоимость часа ночного времени (которое вряд ли может быть использовано для работы), как правило, оценивается ниже стоимости дневного времени. Этим может объясняться относительно большая популярность ночных поездов. В работе [161] приводятся яркие примеры того, что и стоимость единицы рабочего времени может варьировать на несколько порядков. Поэтому концепция стоимости времени пассажира, как правило, применима лишь в оценочных расчетах, и уточнение оценок величины $\beta$ неактуально. Концепция стоимости времени пассажира чаще применяется для прогнозирования поведения деловых пассажиров (или руководства фирмы, отправляющей сотрудника в командировку), поскольку в этом случае выбор наиболее рационален, а оценка стоимости времени пассажира наиболее объективна. Выбирая вид транспорта, предприятия соотносят тариф и упущенную выгоду вследствие того, что работник не выполняет своих служебных обязанностей, находясь в пути[1]. Однако в данной работе такой подход к выбору оптимального вида транспорта применяется в сегменте поездок к месту отдыха, на следующем основании. Как правило, пассажир не воспринимает пребывание в пути как отдых (за исключением тех случаев, когда сама по себе поездка несет познавательную или рекреационную ценность – например, экскурсия, круиз, и т.п.) В то же время, он совершает поездку к месту отдыха, находясь в отпуске, каждый дополнительный день которого приводит к упущенному доходу по месту работы. С одной стороны, концепция стоимости времени пассажира, изначально разработанная для сегмента деловых поездок, применена в данной работе к поездкам туристическим. С другой стороны, развиваемый здесь подход в принципе применим и к сегменту деловых поездок. Их принципиальное отличие от туристических состоит в том, что средства на них выделяют не сами граждане, а предприятия (в виде командировочных), т.е. источником средств на деловые поездки уже не является личный бюджет пассажира.

Строго говоря, неоднородность времени приводит к необходимости по-разному оценивать упущенную выгоду в тех случаях, когда продолжительность поездки не превышает длительности рабочего дня или существенно ее превосходит. Так, например, если $\beta = \frac{1}{200}$, а поездка к месту отдыха и обратно занимает 4 суток (т.е. 96 часов), оценка стоимости времени

[1] Заметим, что с точки зрения фирмы, отправляющей сотрудника в командировку, оценка стоимости его времени может существенно превышать оценку самого индивида, поскольку зарплата не равна доходу, приносимому работником компании. Это обстоятельство, как правило, смещает выбор деловых пассажиров в сторону более скоростных, хотя и более дорогостоящих видов транспорта.

в пути составит около половины месячного дохода индивида, хотя фактически ему пришлось взять менее недели дополнительного отпуска. Тем не менее, как отмечено в работах, использующих понятие стоимости времени пассажира, стоимость времени в пути включает в себя не только прямую потерю дохода, но и денежную оценку разнообразных неудобств, связанных с пребыванием в пути. Таким образом, сумма, которую пассажир (или его работодатель) готов выделить на поездку, должна покрывать транспортный тариф, а также упущенную выгоду и денежную оценку неудобств, связанных с пребыванием в пути.

Опишем временны**е** и стоимостные характеристики поездки, влияющие на принятие пассажиром решения. Пусть $v$ – крейсерская скорость транспортного средства. Преодоление расстояния $l$ при крейсерской скорости, равной $v$, занимает $\frac{l}{v}$ часов. Однако необходимо учитывать, что начало и конец перевозки часто сопряжены с дополнительными маневрами, требующими снижения скорости движения относительно крейсерской (например, движение поезда в пределах железнодорожного узла), а также, возможно, удлиняющими траекторию движения транспортного средства (например, заход самолета на посадку). В свою очередь, общая длительность поездки пассажира выше длительности движения транспортного средства за счет *начально-конечных операций* (посадки и высадки пассажиров, регистрации и досмотра пассажиров и багажа, получения багажа, и т.п., подробнее см. [7, 100]). Кроме того, удаленность аэропортов от городов вызывает необходимость в использовании авиапассажирами *подвозящего транспорта* [7], в роли которого, как правило, выступает автомобильный, пригородный железнодорожный транспорт, и т.п. Поэтому длительность поездки не является прямо пропорциональной ее дальности, и может быть выражена следующей формулой:

$$T = \frac{l}{v} + \Delta T_{\text{пост}}, \tag{5.2}$$

где $\Delta T_{\text{пост}}$ – суммарная продолжительность

- маневрирования транспортных средств в начале и в конце пути;
- начально-конечных операций;
- поездки пассажира на подвозящем транспорте.

Что касается себестоимостей перевозок и тарифов, при их формировании проявляются те же эффекты. Поэтому в реальности цены билетов не прямо пропорциональны дальностям, и, как правило, средний тариф в расчете на пассажиро-километр сокращается с ростом дальности поездки. Пусть $p$ – километровый тариф, рублей за пассажиро-километр. Тогда суммарный тариф на перевозку можно определить следующим образом:

$$P = p \cdot l + \Delta P_{\text{пост}}, \tag{5.3}$$

где $\Delta P_{\text{пост}}$ – постоянная часть тарифа, не зависящая от дальности перевозки. Ее наличие обусловлено в немалой степени теми же факторами, что и наличие постоянной составляющей продолжительности поездки $\Delta T_{\text{пост}}$ – наличием начально-конечных операций, поездкой на подвозящем транспорте, а также выполнением транспортными средствами маневров в начале и конце пути. Иногда на них приходится существенная доля себестоимости перевозки. Так, например, удельный расход топлива самолетом на этапах взлета и набора высоты существенно выше, чем на крейсерском режиме. На взлет и посадку приходится б**о**льшая доля износа самолетов и авиадвигателей. Кроме того, именно со взлетом и посадкой сопряжены аэропортовые сборы.

Если стоимость времени пассажира обозначена $z$, денежная оценка стоимости времени поездки составит $\left[z \cdot T\right]$ денежных единиц. В то же время, стоимость билета составит $P$ денежных единиц. Таким образом, суммарные затраты и потери пассажира, связанные с данной поездкой $C$, выражаются следующей формулой:

$$C = P + z \cdot T = \left( p + \frac{z}{v} \right) \cdot l + \Delta P_{\text{пост}} + z \cdot \Delta T_{\text{пост}}, \qquad (5.4)$$

где $p$ – километровый тариф;

$v$ – крейсерская скорость;

$l$ – дальность поездки;

$\Delta P_{\text{пост}}$, $\Delta T_{\text{пост}}$ – постоянные составляющие стоимости и длительности поездки.

Согласно полученной формуле, при относительно низких значениях стоимости времени, большую роль играет тариф, а по мере возрастания дохода, большее значение приобретает длительность поездки. Следовательно, более обеспеченные пассажиры склонны выбирать более скоростные, хотя и более дорогостоящие виды транспорта. Сам по себе этот тезис, подтверждаемый статистическими данными [7, 68, 72, 100] и непосредственно вытекающий из концепции стоимости времени пассажира, не претендует на новизну. Отличие предлагаемого подхода от известных работ [117, 158, 169], также использующих концепцию стоимости времени пассажира, состоит в следующем. В упомянутых работах предполагается, что для каждого значения дальности поездки пассажир выбирает тот вид транспорта, который обеспечивает минимум суммарных денежных затрат и временн**ы**х потерь. Экзогенным образом задается зависимость частоты поездок от дальности, затем вычисляются суммарная частота и суммарная дальность поездок данного индивида на различных видах транспорта. Однако для пассажиров с различными доходами зависимости частоты поездок от дальности будут существенно отличаться. Кроме того, при появлении новых возможностей совершения дальних поездок такие зависимости, вероятнее всего, претерпят качественные изменения, т.е., их корректнее

считать эндогенными. В предлагаемой упрощенной модели зависимости частоты поездок от дальности не используются. Предполагается, что для совершения единственной в течение года поездки к месту отдыха рационально действующий индивид выбирает тот вид транспорта, который обеспечивает максимум дальности поездки. Т.е. ставится задача максимизации подвижности индивида. Сумма, выделяемая из бюджета индивида на дальние поездки, должна покрывать стоимость поездки туда и обратно, причем, в полную стоимость поездки включается и стоимость затраченного времени. Поэтому максимальная дальность поездок с использованием данного вида транспорта $L$ определяется следующим уравнением:

$$\alpha * \left(M - M_{\min}\right) = 2C = 2L \cdot \left(p + \frac{z}{v}\right) + 2\Delta P_{\text{пост}} + 2z \cdot \Delta T_{\text{пост}},$$

$$\Rightarrow L = \frac{0,5\alpha * \left(M - M_{\min}\right) - z * \Delta T_{пост} - \Delta P_{пост}}{p + \frac{z}{v}}, \qquad (5.5)$$

где $M$ – среднемесячный денежный доход потребителя;

$M_{\min}$ – прожиточный минимум;

$\alpha$ – доля расходов сверх прожиточного минимума на дальние поездки;

$C$ – суммарные затраты и потери пассажира, связанные с данной поездкой;

$p$ – километровый тариф;

$v$ – крейсерская скорость;

$\Delta P_{\text{пост}}$, $\Delta T_{\text{пост}}$ – постоянные составляющие стоимости и длительности поездки.

Различные виды транспорта – магистральный самолет (далее МС) и поезд дальнего следования (далее ЖД) – характеризуются различными значениями технико-экономических показателей, которые, как правило, соотносятся между собой следующим образом:

$$p^{\text{МС}} > p^{\text{ЖД}},\ v^{\text{МС}} > v^{\text{ЖД}},\ \Delta P_{\text{пост}}^{\text{МС}} > \Delta P_{\text{пост}}^{\text{ЖД}},\ \Delta T_{\text{пост}}^{\text{МС}} \gg \Delta T_{\text{пост}}^{\text{ЖД}},$$

где $p$ – километровый тариф;

$v$ – крейсерская скорость;

$\Delta P_{\text{пост}}$, $\Delta T_{\text{пост}}$ – постоянные составляющие стоимости и длительности поездки.

Постоянная составляющая длительности поездки на воздушном транспорте весьма велика – порядка нескольких часов. В последние годы она еще более возросла по причине ужесточения требований к безопасности и последовавшего за ним усиления контроля и досмотра пассажиров и багажа. Аналогичный показатель на железнодорожном транспорте существенно ниже (тем более что железнодорожные вокзалы, как правило, располагаются в центрах городов, что сокращает или даже исключает необходимость в подвозящем транспорте). В итоге на относительно малых даль-

ностях (до нескольких сотен километров) самолет проигрывает поезду не только по стоимости, но и по времени поездки.

В предложенной выше модели оптимальный для данного индивида вид транспорта и максимальная дальность поездок определяются уровнем среднемесячного дохода индивида. Поэтому для анализа совокупного спроса на услуги тех или иных видов транспорта оправдано использование *структурных моделей* (см., например, [11, 72]), которые учитывают неоднородность распределения доходов в обществе. Как правило, статистические данные о распределении населения по величине дохода представляются в следующей форме. Население упорядочивается по возрастанию дохода и делится на 10 равных по численности групп, каждая из которых включает в себя 10 % населения – *децилей*. Обозначим децили индексами $i = 1,..10$. Естественно, число граждан в каждом дециле одинаково и равно $\frac{N}{10}$, где $N$ – численность населения страны. В табл. 5.1 представлены номинальные среднемесячные денежные доходы децильных групп населения России в I квартале 2007 г. (по данным ИСЭПН РАН [146]).

*Таблица 5.1*

Среднемесячные номинальные доходы децильных групп населения России в I квартале 2007 г.

| Дециль | Доход, руб./мес. |
|---|---|
| 1 | 2 119 |
| 2 | 3 118 |
| 3 | 4 272 |
| 4 | 5 492 |
| 5 | 6 877 |
| 6 | 8 551 |
| 7 | 10 713 |
| 8 | 13 791 |
| 9 | 19 001 |
| 10 | 37 665 |

Для иллюстрации расчетов по предлагаемым моделям, примем следующие исходные данные:

- прожиточный минимум $M_{\min}$ = 3 700 рублей в месяц (что соответствует значению прожиточного минимума в России в начале 2007 г, см. [180]);
- доля расходов сверх прожиточного минимума, выделяемая на дальние поездки $\alpha$ = 5 %;
- стоимость часа пассажира составляет 0,5 % его среднемесячного дохода.

Основные технико-экономические параметры воздушного и железнодорожного транспорта, необходимые для оценки длительности и стои-

мости поездок, приведены в табл. 5.2 (оценки крейсерских скоростей и постоянных составляющих длительности поездки см., например, [7]; оценки величин километровых тарифов соотносились с данными Минтранса РФ и ОАО «РЖД» [185, 188]).

*Таблица 5.2*

Некоторые технико-экономические параметры воздушного и железнодорожного транспорта

| Показатель | МС | ЖД |
|---|---|---|
| Крейсерская скорость, км/ч | 800 | 50 |
| Постоянная составляющая длительности поездки, ч | 3 | 1 |
| Средний километровый тариф, руб./пасс.-км | 3 | 1 |
| Постоянная составляющая тарифа, руб. | 1000 | 300 |

На рис. 5.1 изображены полученные с помощью предлагаемой модели графики зависимости максимальной дальности поездок, совершаемых в течение года на самолете и на поезде, от величины среднедушевого дохода $L = f(M)$.

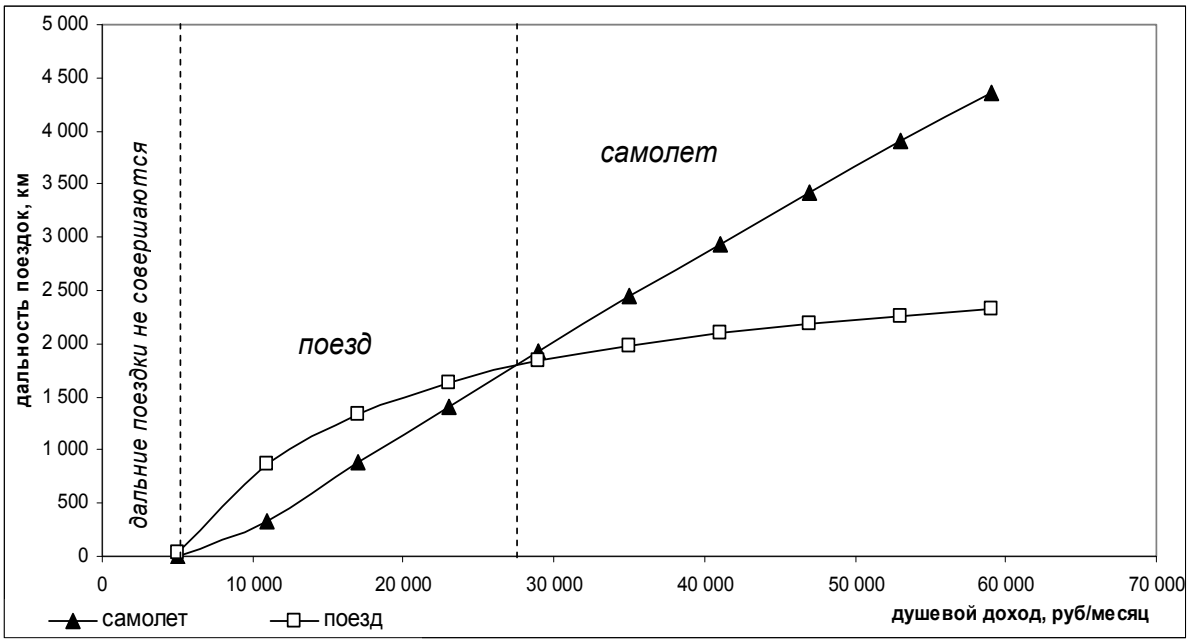


Рис. 5.1. Зависимость максимальной дальности поездок на самолете и поезде от душевого дохода

Сравнение графиков показывает, что услугами авиатранспорта, согласно предлагаемой модели, будут пользоваться индивиды, имеющие среднедушевой доход свыше 27 000 рублей в месяц. Если же в рамках данного примера среднемесячный доход индивида окажется ниже 4800 рублей, он вообще не будет совершать дальних поездок[1]. Сопоставляя эти по-

[1] Пороговая величина дохода выше прожиточного минимума, поскольку существуют постоянные составляющие длительности и стоимости поездки.

роговые значения дохода с данными табл. 5.1, можно предположить, что представители первых трех децильных групп вообще не будут совершать дальние поездки, а воздушный транспорт предпочтут лишь представители 10-го дециля. По оценкам [11, 12, 72], *коэффициент доступности* авиаперевозок (т.е., доля населения, которая может позволить себе совершать авиаперелеты) в современной России составляет 3...7 %, т.е., меньше 10 %. Для повышения разрешающей способности модели, можно использовать в расчетах более подробное разбиение населения по величине среднемесячного дохода – не на децили, а на *перцентили*, т.е. группы по 1 % населения. При этом необходимо аппроксимировать кривую распределения населения по доходам на основе данных о доходах децильных групп, приведенных в табл. 5.1. Результаты аппроксимации приведены на рис. 5.2. Заметим, что оценки доходов представителей верхних перцентилей, полученные в результате аппроксимации, превышают средний доход представителей 10-го дециля. На рис. 5.2 нанесены уровни дохода, при которых индивиды, согласно предложенной модели, будут совершать дальние поездки на поезде или самолете. Эти же пороговые уровни дохода можно увидеть и на рис. 5.1.

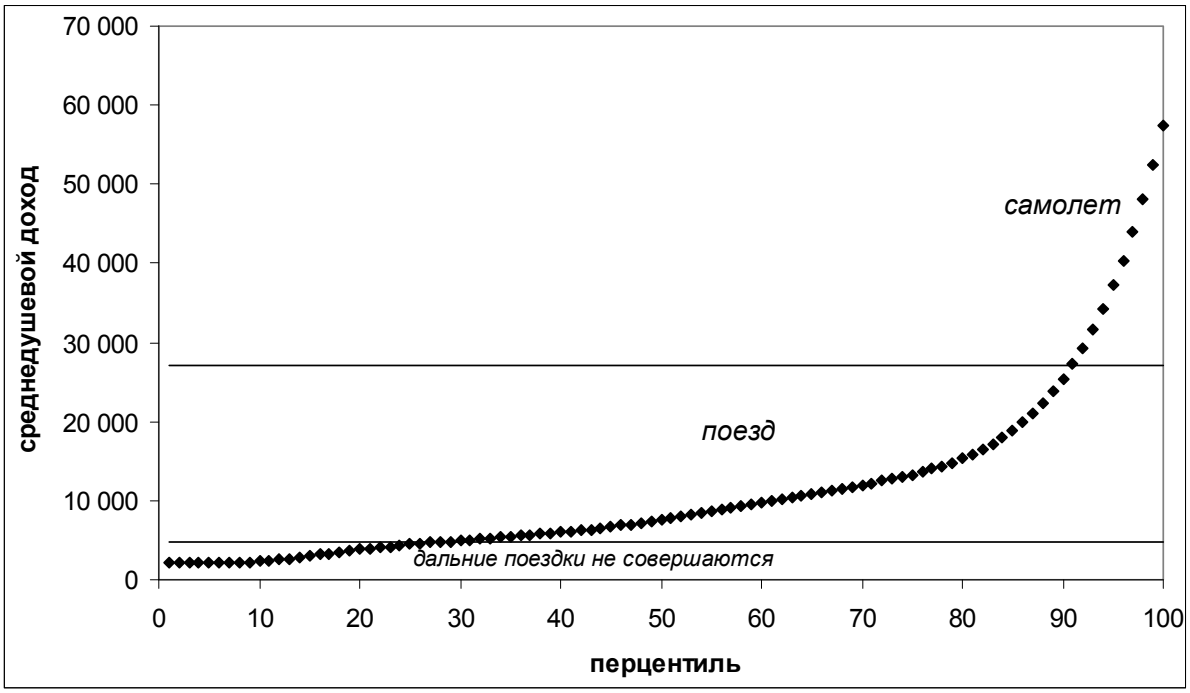


Рис. 5.2. Аппроксимация распределения населения России по доходам в 2006 г., и пороговые значения душевого дохода

Оценки суммарных значений пассажирооборота воздушного и железнодорожного транспорта в рамках данной модели можно получить, суммируя пассажирооборот для всех перцентилей, для которых данный вид транспорта является наиболее предпочтительным (дальность ежегодных поездок необходимо умножить на 2, поскольку пассажир совершает поездку туда и обратно):

$$W_{\Sigma}^{\text{МС}} = \frac{N}{100}\sum_{i=1}^{100} 2L_i^{\text{МС}} \cdot \delta_i^{\text{МС}}, \tag{5.6}$$

$$W_{\Sigma}^{\text{ЖД}} = \frac{N}{100}\sum_{i=1}^{100} 2L_i^{\text{ЖД}} \cdot \delta_i^{\text{ЖД}}, \tag{5.7}$$

где $i = 1,...100$ – номер перцентиля распределения населения по доходу;

$$\delta_i^{\text{МС}} = \begin{cases} 1, & L_i^{\text{МС}} > L_i^{\text{ЖД}} \\ 0, & L_i^{\text{МС}} < L_i^{\text{ЖД}} \end{cases}$$

$$\delta_i^{\text{ЖД}} = \begin{cases} 1, & L_i^{\text{ЖД}} > L_i^{\text{МС}} \\ 0, & L_i^{\text{ЖД}} < L_i^{\text{МС}} \end{cases}$$

Аналогично можно оценить объем перевозок, т.е. количество пассажиров, ежегодно перевозимых данным видом транспорта:

$$X_{\Sigma}^{\text{МС}} = \frac{N}{100}\sum_{i=1}^{100} 2\delta_i^{\text{МС}}, \tag{5.8}$$

$$X_{\Sigma}^{\text{ЖД}} = \frac{N}{100}\sum_{i=1}^{100} 2\delta_i^{\text{ЖД}}. \tag{5.9}$$

Предложенная модель формирования спроса на туристические поездки в принципе не предполагает многократного совершения поездок одним пассажиром в течение года (и, следовательно, применима только в неблагоприятной социально-экономической ситуации, когда коэффициент подвижности населения не достигает 1 поездки в год). Тем не менее, в реальности состоятельные граждане совершают несколько поездок в год, что оказывает существенное влияние на показатели работы пассажирского транспорта. Согласно оценкам, выполненным в работе [11], среднее количество авиаперелетов, совершаемых за год, приблизительно одинаково для граждан развитых стран мира и для россиян с аналогичным уровнем дохода.

Отношение пассажирооборота данного вида транспорта к объему перевозок имеет размерность расстояния и отражает среднюю дальность поездок на данном виде транспорта:

$$l_{\text{ср}}^{\text{МС}} = \frac{W_{\Sigma}^{\text{МС}}}{X_{\Sigma}^{\text{МС}}}, \tag{5.10}$$

$$l_{\text{ср}}^{\text{ЖД}} = \frac{W_{\Sigma}^{\text{ЖД}}}{X_{\Sigma}^{\text{ЖД}}}. \tag{5.11}$$

Принимая численность населения РФ равной 143 млн человек (согласно данным Госкомстата РФ на конец 2006 г. [180]), получим в данном примере $W_{\Sigma}^{\text{МС}}$ = 82 млрд пасс.-км/г, $W_{\Sigma}^{\text{ЖД}}$ = 130 млрд пасс.-км/г, $X_{\Sigma}^{\text{МС}}$ = 29 млн пасс./г, $X_{\Sigma}^{\text{ЖД}}$ = 177 млн пасс./г. Фактические значения, соответственно, 93,7 и 124,6 млрд пасс.-км/г; 40 и 135 млн пасс./г, см. [185, 188]. Средние дальности поездок на самолете и поезде в данном примере составляют, со-

ответственно, $l_{ср}^{МС}$ = 2 860 км, $l_{ср}^{ЖД}$ = 734 км, что удовлетворительно согласуется со статистическими данными (в 2006 г. – соответственно, 2 350 и 923 км). Таким образом, в полном согласии с исходными гипотезами данной модели, на самолете совершаются относительно дальние поездки.

Разумеется, предложенная модель спроса на дальние перевозки является чрезвычайно упрощенной, и не следует ожидать совпадения модельных оценок с фактическими данными. Помимо принятых в данной модели упрощений, можно указать несколько причин расхождений, которые могут быть устранены при наличии более полной исходной информации.

1) *Несоответствие сегментов рынка дальних перевозок, учтенных в модели и в статистических источниках.* Предлагаемая модель строилась для прогнозирования спроса на поездки к месту отдыха. И хотя их доля является значительной или даже подавляющей, нет достоверных сведений о том, каковы доли деловых и неделовых пассажиров в общих пассажирообороте и объеме перевозок воздушного и железнодорожного транспорта, приводимых в источниках [185, 188].

2) *Наличие иных категорий потенциальных пассажиров, помимо населения РФ.* Услугами российского магистрального транспорта пользуются и иностранные граждане, в частности, мигранты из республик бывшего СССР, причем, на некоторых направлениях их доля весьма высока. В то же время, и россияне пользуются услугами зарубежных транспортных компаний. Внести соответствующие коррективы на основании данных официальных источников [180, 185, 188] также не представляется возможным.

3) *Наличие иных видов транспорта, помимо учтенных в модели.* Помимо поездов дальнего следования, пассажиры могут воспользоваться услугами другого вида наземного транспорта, не учтенного в данной модели, – междугородными автобусами. В рамках предложенной модели они занимают место, близкое к поездам дальнего следования, как по средней скорости, так и по величине тарифов. Различие между ними вызвано, во-первых, различной обеспеченностью тех или иных регионов страны транспортной инфраструктурой (железными дорогами и автомагистралями), и, во-вторых, меньшим уровнем комфорта автобусного транспорта по сравнению с купейными и спальными вагонами поездов дальнего следования. Таким образом, можно считать, что в данной модели получены показатели не только железнодорожного, но вообще наземного транспорта в дальнем сообщении. В 2006 г. объем перевозок междугородного автобусного транспорта превысил 160 млн пасс./г; пассажирооборот составил 16,4 млрд пасс.-км/г [185]. Заметим, что средняя дальность поездок на междугородных автобусах составляет лишь около 100 км (хотя в последние годы в России и странах СНГ получили широкое распространение дальние автобусные перевозки на расстояния порядка 1000 км, в т.ч., международные). Поэтому, несмотря на значительный объем перевозок, вклад междугородных автобусов в суммарный пассажирооборот наземного дальнего транс-

порта относительно невелик. С учетом наличия междугородного автобусного транспорта, фактический суммарный пассажирооборот наземного транспорта РФ в 2006 г. составлял не 124,6, а свыше 140 млрд пасс.-км/г.

С учетом вышеперечисленных факторов, можно считать, что предлагаемая упрощенная модель позволяет прогнозировать величины пассажирооборота, объема перевозок и средней дальности поездок на различных видах транспорта лишь по порядку величины.

В рамках данной работы наибольший интерес представляет связь между структурой спроса на услуги различных видов транспорта и распределением доходов в обществе. Однако и в этом отношении предлагаемая модель содержит принципиальное упрощение. Строго говоря, корректнее рассматривать потребительское поведение не индивида, а семьи, в рамках которой может происходить перераспределение дохода к индивидам, имеющим низкие доходы, или даже не получающим доходов. Они могут совершать поездки за счет членов семьи, имеющих относительно высокие денежные доходы. Неучет данного эффекта может искажать прогнозы спроса на услуги различных видов транспорта как в большую, так и в меньшую сторону. С одной стороны, индивиды, не получающие доходов или получающие доходы ниже определенных выше пороговых значений, могут совершать поездки (в т.ч., и на воздушном транспорте) за счет членов семьи с высокими доходами. С другой стороны, последние, даже если их доход достаточен для полетов на самолете, могут, например, пользоваться услугами железнодорожного транспорта, поскольку из их дохода необходимо оплачивать также поездки других членов семьи. Однако непосредственный учет таких эффектов чрезвычайно затруднен даже при наличии официальных статистических данных о распределении совокупных семейных доходов. В статистических обследованиях сложно определить границы реальной семьи, в рамках которой могут происходить описанные процессы перераспределения доходов.

## 5.2. Возможности повышения доступности авиаперевозок и емкости рынков гражданской авиатехники

Хотя используемая здесь модель спроса на авиаперевозки является сильно упрощенной, основной качественный вывод, полученный с ее помощью, остается справедливым: в нынешней социально-экономической ситуации, при наличии значительной дифференциации доходов населения и низком уровне доходов большинства домохозяйств, услуги воздушного транспорта доступны лишь нескольким процентам россиян, а наиболее массовым видом транспорта в дальнем пассажирском сообщении остается железнодорожный – относительно дешевый и тихоходный. В настоящее время гражданская авиация фактически стала в России элитным видом транспорта, услуги которого доступны лишь нескольким процентам насе-

ления страны (по различным оценкам [12, 72] – от 5...7 до 10...15 %). Наиболее обеспеченные граждане, как правило, совершают несколько перелетов в год, чем и объясняется относительно высокий объем перевозок в стране, достигший в 2006 г. около 40 млн пассажиров, а в 2007 г. – почти 45 млн пассажиров [185]. При этом *коэффициент подвижности населения* (отношение годового объема перевозок к численности населения) составил в России 0,32 полета в год, т.е., формально почти каждый третий россиянин в течение года побывал на борту воздушного судна, однако фактически подавляющая часть населения России не обеспечена услугами скоростного транспорта. Несмотря на восстановительный рост, имеющий место в российской гражданской авиации с начала 2000-х гг., ситуация в секторе внутрироссийских авиаперевозок остается кризисной. Так, в 2006 г. пассажирооборот российского воздушного транспорта на внутренних авиалиниях составлял 43 млрд пасс.-км/г., и уступал даже аналогичному показателю на международных авиалиниях (50,9 млрд пасс.-км/г.). Подчеркнем, что это не означает бесперспективности рынка внутрироссийских дальних перевозок как таковых, поскольку, как было отмечено выше, воздушный транспорт приобрел характер элитного. В течение более чем 15 лет подавляющая доля внутренних пассажирских перевозок в России приходится на долю железнодорожного транспорта. Внутренний пассажирооборот поездов дальнего следования в 2006 г. составлял 124,6 млрд пасс.-км/г., при этом было перевезено около 135 млн пассажиров [188]. Таким образом, даже в нынешней, неудовлетворительной социально-экономической ситуации общая емкость внутреннего российского рынка дальних пассажирских перевозок весьма высока, но услугами скоростного транспорта могут пользоваться немногие.

Кардинальное повышение доступности современного воздушного транспорта возможно лишь в случае существенного повышения реальных денежных доходов большинства населения страны, а не только наиболее обеспеченных слоев, что наблюдается в современной России. Согласно исследованиям сотрудников ИСЭПН РАН [146], к началу 2007 г., по сравнению с 2003 г. реальные доходы беднейшей половины населения (т.е. представителей 1...5-го децилей) практически не выросли или даже сократились, зато доходы представителей 10-го дециля возросли в реальном выражении на 38 %, см. табл. 5.3. *Децильный коэффициент* (соотношение среднедушевых доходов 10-го и 1-го децилей) возрос с 13,6 до 17,8.

Таким образом, рост среднедушевого ВВП не обязательно трансформируется в повышение благосостояния большинства населения России, в силу ряда причин. Прежде всего, этому способствует отраслевая структура российской экономики с преобладанием сырьевого сектора и соответствующие ей институциональные особенности распределения доходов. В свою очередь, сложившаяся в нашей стране система налогообложения и социальной защиты, как показано в работе сотрудников ИСЭПН РАН [146],

*Таблица 5.3*

Среднемесячные реальные денежные доходы децильных групп населения России в ценах 2003 г., рублей в месяц

| Дециль | 2003 | 2007 | Прирост |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 119 | 1 177 | 5,2 % |
| 2 | 1 824 | 1 732 | – 5,0 % |
| 3 | 2 388 | 2 373 | – 0,6 % |
| 4 | 2 957 | 3 051 | 3,2 % |
| 5 | 3 586 | 3 821 | 6,5 % |
| 6 | 4 324 | 4 751 | 9,9 % |
| 7 | 5 240 | 5 952 | 13,6 % |
| 8 | 6 507 | 7 662 | 17,7 % |
| 9 | 8 553 | 10 556 | 23,4 % |
| 10 | 15 202 | 20 919 | 37,6 % |

способствует не выравниванию доходов, а дальнейшему углублению дифференциации. Как повлияет сохранение этих тенденций на перспективы развития воздушного транспорта в России? Пока среднедушевой доход россиян был существенно ниже уровня, позволяющего совершать авиаперелеты, наличие расслоения было, в определенном смысле, необходимо для развития индустрии авиаперевозок, поскольку требовалось, чтобы хотя бы малая часть населения могла пользоваться услугами авиатранспорта. Однако по мере роста среднедушевого дохода в стране, сильное расслоение (а тем более, его углубление) становится препятствием на пути развития рынка авиаперевозок. В описанной выше упрощенной модели рост дохода обеспеченных граждан вызывает пропорциональное увеличение спроса на авиаперевозки. Однако в реальности, начиная с определенного уровня дохода, спрос индивида на авиаперевозки достигает насыщения (подробнее см. [11]) – в противном случае наиболее состоятельным гражданам придется стать профессиональными авиапассажирами. Следовательно, дальнейшее повышение доходов лишь самых обеспеченных граждан не вызовет ожидаемого прироста пассажирооборота и объема перевозок, несмотря на рост среднедушевого дохода в стране. Также необходимо принимать во внимание, что наблюдаемый в настоящее время рост российского ВВП в немалой степени вызван удорожанием нефти на мировых рынках. При этом возрастают и внутрироссийские цены на нефть и авиатопливо, что приводит к росту себестоимости авиаперевозок и уровня тарифов.

При сохранении сложившихся тенденций развития российского рынка авиаперевозок, существенное увеличение его емкости (а, следовательно, и емкости российского рынка авиатехники) в обозримом будущем маловероятно. Таким образом, чрезвычайно актуальным в сложившейся ситуации становится радикальное повышение доступности авиаперевозок. Как показано выше, для этого необходимо, чтобы существенно возросли реальные

денежные доходы большей части населения страны, а не только нескольких процентов наиболее обеспеченных граждан, что наблюдается в последние годы. Бесспорно, решение этой проблемы лежит за пределами возможностей авиационной промышленности и отраслевой науки. В то же время, сама авиационная промышленность заинтересована в том, чтобы активно искать новые ниши на рынке дальних перевозок, обладающие значительной емкостью даже в нынешней социально-экономической ситуации. Как показано в п. 5.2, при появлении новой ниши рынка скоростных транспортных средств, обладающей достаточной емкостью, можно было бы уйти от непродуктивной прямой конкуренции с зарубежными производителями в традиционном сегменте магистральных самолетов. Естественно, емкость этой гипотетической новой ниши определяется емкостью соответствующей ниши рынка скоростных пассажирских перевозок. В нынешней социально-экономической ситуации существенно повысить пассажирооборот скоростных видов транспорта можно лишь при условии многократного удешевления перевозок. Возможности совершенствования магистральных пассажирских самолетов в настоящее время не позволяют рассчитывать на такое удешевление, и необходимы принципиально новые решения. Над их поиском работают как в авиационной промышленности, так и в судостроении, железнодорожном машиностроении, и т.д. Возможна ли в принципе, и какими технико-экономическими характеристиками должна обладать общедоступная авиация будущего? В качестве новых видов транспортных средств (далее – НВТС) рассматриваются транспортные дирижабли, иные виды летательных аппаратов нетрадиционных схем, экранопланы (в приморских районах и на побережьях внутренних водоемов), а также различные виды наземного скоростного транспорта. В данной работе не ставится задача оценки реализуемости того или иного уровня технических параметров НВТС. Более того, на данном этапе даже не определяется конструктивный тип перспективных транспортных средств. Очевидно, что освоение серийного производства и эксплуатации любого нового вида транспортных средств неизбежно потребует масштабных НИОКР, технологической подготовки производства и соответствующих инвестиций (в т.ч., в транспортную инфраструктуру). Однако прежде чем принимать решение о развертывании работ в том или ином направлении, необходимо провести предварительный экономический анализ и ответить на следующие вопросы:

1) действительно ли НВТС (при заданном уровне технико-экономического совершенства) позволят радикально повысить доступность скоростного пассажирского транспорта, подвижность населения страны, и стимулировать массовый спрос на дальние перевозки?

2) какие области значений технико-экономических параметров НВТС позволяют наиболее полно реализовать их конкурентные преимущества перед традиционными видами транспорта?

Научно обоснованные ответы на эти вопросы необходимы как для сокращения риска рыночного провала проектов НВТС, так и для обоснованного определения приоритетных направлений НИОКР.

Анализ различных концепций НВТС [7, 148] показывает, что они вряд ли будут превосходить по скорости современные магистральные пассажирские самолеты с реактивными двигателями, развивающие в крейсерском (т.е., наиболее экономичном) режиме полета приблизительно 800...900 км/ч. Более того, наиболее вероятно, что крейсерские скорости НВТС будут значительно ниже, чем у реактивных самолетов, особенно если ставится задача существенно сократить себестоимость перевозок. Таким образом, НВТС призваны занять нишу между магистральными пассажирскими самолетами и поездами дальнего следования, как по скорости, так и по себестоимости перевозок. Необходимо проанализировать, как технико-экономические параметры перспективных видов транспорта повлияют на емкость российского рынка дальних перевозок. В рамках используемого в данной главе подхода к прогнозированию поведения потенциальных пассажиров, примем следующую гипотезу. Появление нового вида скоростного транспорта повлияет на выбор индивида в том случае, если этот вид транспорта открывает перед ним возможность увеличения дальности поездок, т.е., при выполнении следующего неравенства:

$$L^{\text{НВТС}} > \max\left\{L^{\text{МС}}; L^{\text{ЖД}}\right\}.$$

При этом необходимо учесть ограничение на максимальную длительность поездки, определяемое физиологическими возможностями пассажиров и требованиями к комфорту. Такое ограничение может стать актуальным именно для видов транспорта, занимающих промежуточное положение по скорости между поездом и самолетом. Максимально допустимое время непрерывного пребывания пассажира в кресле самолета составляет 15...17 часов, причем, за это время реактивный пассажирский самолет как раз способен преодолеть максимальное расстояние, на которое совершаются пассажирские перевозки в мире. Что касается поездов дальнего следования, их скорость существенно ниже, однако конструктивные особенности купейных и спальных вагонов позволяют пассажиру провести в пути до нескольких суток при сохранении приемлемого уровня комфорта. Если новый вид скоростного транспорта будет предусматривать размещение пассажиров в креслах (наподобие самолетных), можно поставить следующее ограничение:

$$T^{\text{НВТС}} \le T_{\text{доп}}^{\text{НВТС}},$$

где $T_{\text{доп}}^{\text{НВТС}} = 12...15$ ч. Это ограничение фактически определяет максимальную для данного вида транспорта дальность поездок:

$$L^{\text{НВТС}} \le \left(T_{\text{доп}}^{\text{НВТС}} - \Delta T_{\text{пост}}^{\text{НВТС}}\right) \cdot v^{\text{НВТС}}. \qquad (5.12)$$

Например, если крейсерская скорость НВТС составляет 300 км/ч, постоянная составляющая длительности поездки равна 2 ч, а максимально допустимая длительность пребывания в пути равна 12 ч, НВТС может применяться лишь на дальностях, не превышающих: $(12\,\text{ч} - 2\,\text{ч}) \cdot 300\,\text{км/ч} = 3000\,\text{км}$. При дальности поездки свыше этого уровня пассажир может воспользоваться только самолетом, даже если НВТС обеспечивает меньшие суммарные затраты и потери.

Поскольку $L = L(M)$, эффект появления новых видов скоростного транспорта проявится лишь в определенном диапазоне доходов. Как уже упоминалось выше, и по скорости, и по себестоимости перевозок НВТС, скорее всего, будет занимать промежуточное место между реактивными самолетами и поездами дальнего следования:

$$p^{\text{МС}} > p^{\text{НВТС}} > p^{\text{ЖД}},\ v^{\text{МС}} > v^{\text{НВТС}} > v^{\text{ЖД}}.$$

Вероятнее всего, аналогичным будет и соотношение постоянных составляющих тарифов и продолжительности поездки:

$$\Delta P_{\text{пост}}^{\text{МС}} > \Delta P_{\text{пост}}^{\text{НВТС}} > \Delta P_{\text{пост}}^{\text{ЖД}},\ \Delta T_{\text{пост}}^{\text{МС}} > \Delta T_{\text{пост}}^{\text{НВТС}} > \Delta T_{\text{пост}}^{\text{ЖД}}.$$

Рис. 5.3 аналогичен рис. 5.1, но помимо графиков $L^{\text{МС}}(M)$ и $L^{\text{ЖД}}(M)$, на нем изображен график $L^{\text{НВТС}}(M)$. При этом приняты следующие значения технико-экономических параметров нового вида транспортных средств: $p^{\text{НВТС}} = 2$ руб./пасс.-км; $v^{\text{НВТС}} = 300$ км/ч; $\Delta T_{\text{пост}}^{\text{НВТС}} = 2$ ч; $\Delta P_{\text{пост}}^{\text{НВТС}} = 700$ руб.; $T_{\text{доп}}^{\text{НВТС}} = 12$ ч.

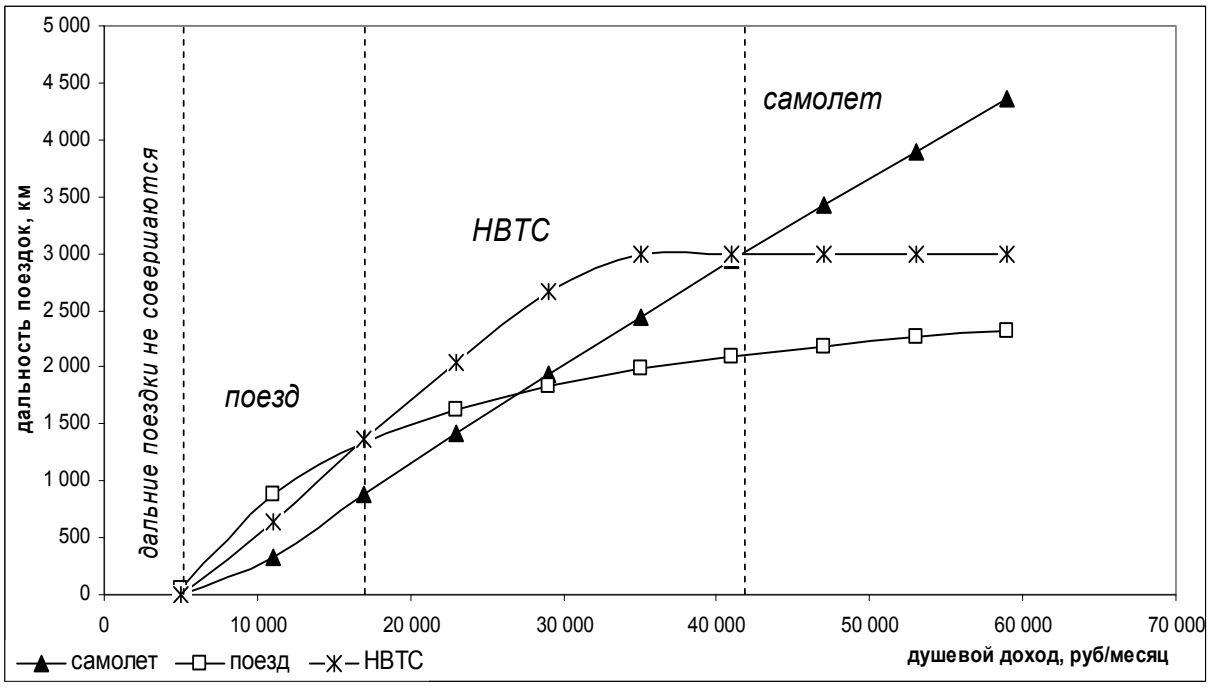


Рис. 5.3. Зависимость максимальной дальности поездок на самолете, поезде и новом виде скоростного транспорта от душевого дохода

Как показывает сравнение приведенных графиков, появление НВТС с такими технико-экономическими параметрами не повлияет на поведение индивидов со среднемесячными доходами

- до 4 800 рублей (т.е. вплоть до 28-го перцентиля распределения населения по доходам), поскольку их среднемесячный доход вообще не позволяет им совершать дальние поездки;
- от 4 800 до 16 500 рублей (от 29-го до 81-го перцентиля), поскольку для них наиболее предпочтительным по-прежнему остается поезд дальнего следования;
- от 44 000 рублей и выше (от 97-го до 100-го перцентиля), поскольку для них наиболее предпочтительным по-прежнему остается реактивный самолет.

Однако индивидов со среднемесячными доходами от 16 500 до 44 000 рублей (т.е. представителей 82-го-96-го перцентилей) могут заинтересовать новые возможности, предоставляемые НВТС. На рис. 5.4, аналогичном рис. 5.2, изображены перечисленные выше пороговые значения доходов на фоне гистограммы распределения населения России по доходам в 2006 г.

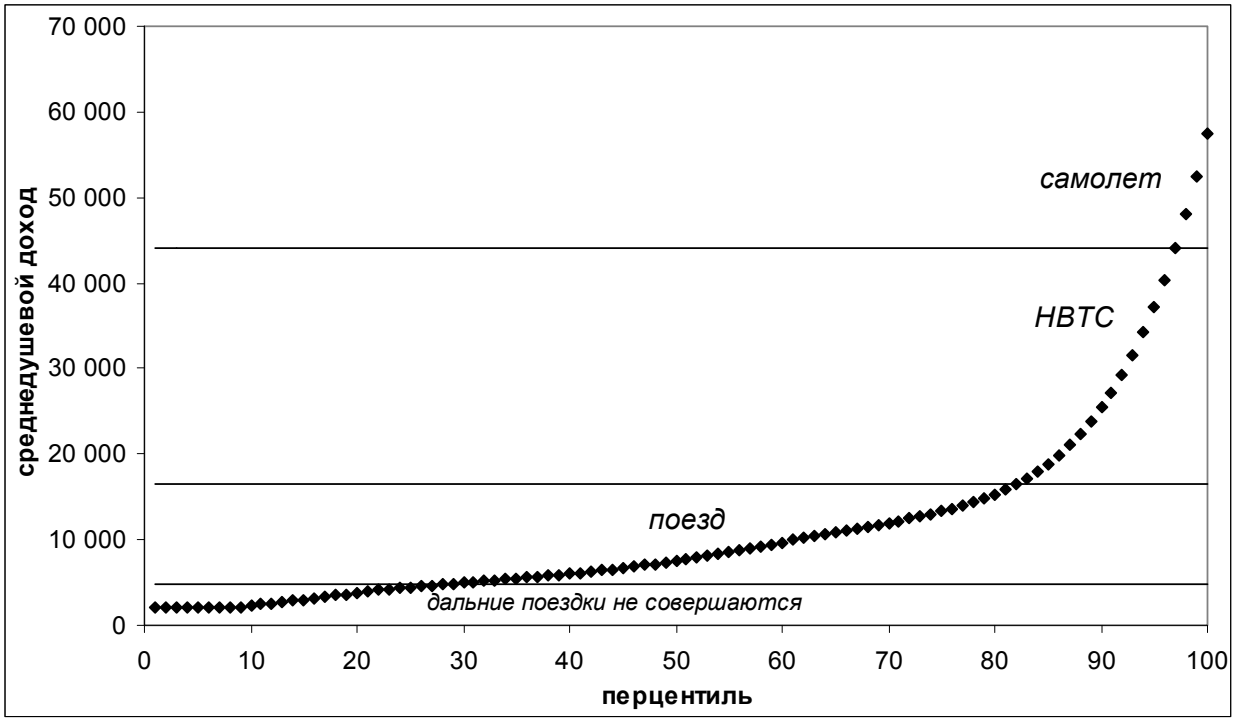


Рис. 5.4. Аппроксимация распределения населения России по доходам в 2006 г, и пороговые значения душевого дохода после появления НВТС

Оценить интегральный пассажирооборот нового вида транспорта можно, суммируя пассажирооборот НВТС для всех перцентилей:

$$W_{\Sigma}^{\text{НВТС}} = \frac{N}{100}\sum_{i=1}^{100} 2L_i^{\text{НВТС}} \cdot \delta_i^{\text{НВТС}}, \qquad (5.13)$$

где $i = 1,...100$ - номер перцентиля распределения населения по доходу;

$$\delta_i^{\text{НВТС}} = \begin{cases} 1, \ L_i^{\text{НВТС}} > \max\left\{L_i^{\text{ЖД}}; L_i^{\text{МС}}\right\} \\ 0, \ L_i^{\text{НВТС}} < \max\left\{L_i^{\text{ЖД}}; L_i^{\text{МС}}\right\} \end{cases}.$$

Аналогично оценивается количество ежегодно перевозимых пассажиров:

$$X_{\Sigma}^{\text{НВТС}} = \frac{N}{100}\sum_{i=1}^{100} 2\delta_i^{\text{НВТС}} . \qquad (5.14)$$

В данном примере пассажирооборот нового вида скоростного транспорта составит 94 млрд пасс.-км/г, годовой объем перевозок – 43 млн пасс./г, средняя дальность поездок – 2 180 км. Разумеется, при появлении нового вида транспорта обобщающие показатели работы традиционных видов транспорта изменятся. На НВТС переключается часть пассажиров, которые ранее пользовались авиационным либо железнодорожным транспортом. Так, в приведенном примере число пассажиров, перевозимых за год воздушным и железнодорожным транспортом, сократится, соответственно, до 12 млн и 152 млн, т.е., соответственно, на 59 % и 14 %. Пассажирооборот магистральных самолетов и поездов дальнего следования сократится, соответственно, до 42 и 92 млрд пасс.-км/г, т.е., соответственно, на 49 % и 29 % (изменятся и средние дальности поездок: для поезда средняя дальность сократится приблизительно до 600 км, а для самолета возрастет до 3 700 км). Однако общий пассажирооборот в стране при этом возрастает, что наглядно демонстрирует рис. 5.3. В самом деле, потребитель переключится на новый вид транспорта лишь в том случае, если появление НВТС означает для него возможность увеличения дальности поездок. В данном примере прирост общего пассажирооборота в дальнем пассажирском сообщении составил 8 %, однако суммарный пассажирооборот скоростных видов транспорта (т.е. воздушного и гипотетического нового) возрос гораздо более существенно – на 66 %. Таким образом, повышение доступности скоростного пассажирского транспорта может привести к значительному увеличению емкости рынков скоростных перевозок и скоростных транспортных средств.

Следует подчеркнуть, что при определенных значениях технико-экономических параметров, новый вид транспорта, занимающий промежуточное положение между реактивными самолетами и поездами дальнего следования, не только привлечет часть пассажиров, пользующихся этими видами транспорта (что само по себе еще не является позитивным эффектом), но и генерирует новые пассажиропотоки. Рассмотрим для наглядности следующий пример, основанный на вышеприведенных значениях исходных величин. Предположим, что среднемесячный доход индивида составляет 27 700 рублей Тогда максимальная сумма, которую он готов выделить на поездки к месту отдыха, составляет $(27\,700 - 3\,700)\cdot 12 \cdot 0{,}05 = 14\,400$ рублей в год, включая денежную оценку стоимости времени, проведенного в пути. При нынешних уровнях тарифов и скоростей, индивид не может по-

зволить себе раз в год съездить на отдых в регион, находящийся на расстоянии 2 500 километров от своего места жительства. Ему недоступна поездка на самолете, поскольку, несмотря на относительно малое время в пути туда и обратно, составляющее менее 13 часов, денежного дохода недостаточно для оплаты авиабилетов туда и обратно, поскольку они стоят 17 000 рублей. Также неприемлема для данного индивида поездка на поезде, поскольку, несмотря на относительно небольшую стоимость билетов, равную 5 600 рублям, время в пути туда и обратно составит 102 часа, денежная оценка которых превышает 14 100 рублей. Если же новый вид скоростного пассажирского транспорта предлагает билеты туда и обратно по цене 11 400 рублей и обеспечивает общее время в пути, равное 20,7 часов, сумма затрат и денежной оценки времени в пути составит менее 14 300 рублей, и лежит в пределах финансовых возможностей данного индивида.

Таким образом, появление нового вида скоростного транспорта с определенными технико-экономическими характеристиками способно даже при нынешней ситуации в сфере распределения доходов в России стимулировать существенный рост подвижности населения, что выходит далеко за рамки узкоотраслевых интересов перевозчиков и производителей транспортных средств. Ведущие специалисты в области экономической географии (см., например, [40]) подчеркивают, что подвижность населения оказывает решающее влияние на экономическое и социальное развитие страны. Эти факторы особенно актуальны для России, самой обширной страны мира. Низкая доступность поездок между регионами России приводит к нарушению целостности экономического и социокультурного пространства, что в перспективе может угрожать национальной безопасности и территориальной целостности страны. Следовательно, возможность создания доступного скоростного транспорта имеет не только локально-отраслевое, но и стратегическое общегосударственное значение.

Согласно предлагаемым моделям, прирост подвижности населения и емкость новых сегментов рынков перевозок и транспортных средств будут тем выше, чем выше будет крейсерская скорость НВТС, и чем ниже будет километровый тариф. Однако повышение скорости, как правило, сопряжено с ростом себестоимости пассажиро-километра, а также постоянных составляющих стоимости и длительности поездки. Поэтому в дальнейшем необходим инженерно-экономический анализ реализуемости того или иного набора параметров $\left\{v^{\text{НВТС}}; p^{\text{НВТС}}; \Delta T_{\text{пост}}^{\text{НВТС}}; \Delta P_{\text{пост}}^{\text{НВТС}}\right\}$ в рамках различных концепций НВТС. В пространстве этих параметров определяется область значений, практически достижимых при данном уровне развития технологий. Далее в этой области возможен поиск оптимальной точки, доставляющей максимум выбранной целевой функции. Описанный здесь подход позволяет решать разнообразные задачи оптимизации проектных параметров перспективных видов транспорта. Однако в условиях, когда отечест-

венной авиационной промышленности необходимо найти новые рыночные ниши, важнейшим показателем является, по нашему мнению, именно их емкость, определяемая, прежде всего, пассажирооборотом нового вида транспорта. Если она окажется недостаточной, не оправдаются значительные постоянные затраты на НИОКР и технологическую подготовку производства новых видов транспортных средств.

Качественный анализ результатов модельных расчетов показывает, что в настоящее время может быть экономически целесообразным создание массового скоростного транспорта, занимающего промежуточное положение между самолетами и традиционными поездами по скорости и себестоимости перевозок. Заметим, что этот вывод противоречит распространенному стереотипу, согласно которому относительно тихоходные транспортные средства, обладающие крейсерской скоростью порядка 200...300 км/ч, заведомо неконкурентоспособны на дальностях порядка нескольких тысяч километров по сравнению с самолетами (см., например, [7]). Безусловно, они будут проигрывать самолетам по времени перевозки. Однако решающее значение могут иметь более низкие, чем на авиатранспорте, тарифы – особенно в условиях, когда покупательная способность большей части населения настолько низка, что граждане вынуждены совершать дальние поездки, в основном, на поездах дальнего следования со скоростями порядка 50 км/ч. На рубеже 1980-х – 1990-х гг., когда советская гражданская авиация достигла рекордных показателей за все время своего существования, пассажирские перевозки в СССР дотировались государством, и были доступны в 1980-е гг. фактически каждой семье. На рубеже 1980-1990-х гг. советская гражданская авиация достигла рекордных показателей за всю историю своего развития: так, в 1988 г. пассажирооборот составил 215 млрд пасс.-км, объем перевозок составил 125 млн пассажиров, т.е. коэффициент подвижности достиг 0,5...0,6, что было сравнимо с уровнем развитых европейских стран. Средний авиатариф был в несколько раз ниже среднемесячного дохода [72], при существенно меньших показателях дифференциации доходов. Вряд ли авторы упомянутых работ могли предвидеть столь радикальное изменение социально-экономической ситуации, которое произошло в России в начале 1990-х гг.

Как показано в п. 4.1, для обеспечения экономически целесообразных объемов выпуска новых видов скоростных транспортных средств и окупаемости проектов их создания, спрос на них должен быть массовым не только на российском, но и на мировом рынке. Можно ли рассчитывать на это? Соображения, приведенные в данной работе, вряд ли актуальны в настоящее время для наиболее развитых стран мира (США, Японии, стран Евросоюза), в которых покупательная способность большинства населения позволяет регулярно совершать дальние поездки традиционным авиатранспортом. Однако ситуация на мировом рынке авиаперевозок в определенном смысле сходна с российской. По данным Международной ассоциа-

ции воздушного транспорта (ИАТА) [182], объем перевозок авиакомпаний мира в 2006 г. превышал 2 млрд пассажиров, т.е., на первый взгляд, каждый третий житель Земли побывал в течение года на борту авиалайнера. Но фактически такие показатели достигнуты за счет многократных полетов граждан наиболее благополучных стран мира. Только в США объем авиаперевозок в 2006 г. составил около 700 млн пассажиров [178] – что примечательно, в основном, на внутренних линиях, при общей численности населения чуть более 300 млн человек. Т.е. коэффициент авиационной подвижности населения составил около 2,5 полетов в год. В странах ЕС аналогичный показатель составляет порядка 1...1,7. При этом коэффициент доступности авиаперевозок составляет в США свыше 80 %, в Германии – 75 % [12]. Б**о**льшая же часть населения Земли вынуждена либо отказываться от дальних поездок вообще, либо довольствоваться дешевыми и низкоскоростными видами транспорта. Следовательно, развитие новых видов скоростного транспорта может оказаться целесообразным не только в России, но и во многих развивающихся странах мира, значительная часть населения которых, с одной стороны, уже вышла из нищеты, но, с другой стороны, еще не может позволить себе регулярно пользоваться услугами традиционного воздушного транспорта.

Совокупный спрос на перевозки новым видом скоростного транспорта и соответствующие транспортные средства необходимо прогнозировать на период, равный длительности жизненного цикла перспективных изделий. Для этого необходимы прогнозы социально-экономического развития страны на период порядка 20...30 лет. В рамках описанного здесь подхода, подразумевающего построение структурных моделей спроса на перевозки, необходимы долгосрочные прогнозы распределения населения по доходу, описанные в работах сотрудников ИСЭПН РАН, например, [146]. Также необходимы прогнозы цен на энергоносители, поскольку их стоимость занимает все большую долю в себестоимости перевозок. Предположим, например, что при неизменных значениях прочих параметров модели (в т.ч., прожиточного минимума и тарифов) произошло удвоение душевых доходов всех групп населения, по сравнению с данными табл. 5.1. Новое распределение населения по доходам изображено на рис. 5.5.

На фоне графика распределения по доходам показаны пороговые уровни дохода, аналогичные изображенным на рис. 5.4. Показатели совокупного спроса на услуги различных видов транспорта примут следующие значения: $W'^{\text{МС}}_{\Sigma}$ = 203 млрд пасс.-км/г, $W'^{\text{ЖД}}_{\Sigma}$ = 93 млрд пасс.-км/г, $W^{\text{НВТС}}_{\Sigma}$ = 207 млрд пасс.-км/г, $X'^{\text{МС}}_{\Sigma}$ = 40 млн. пасс./г, $X'^{\text{ЖД}}_{\Sigma}$ = 123 млн пасс./г, $X^{\text{НВТС}}_{\Sigma}$ = 94 млн пасс./г (штрихом обозначены значения параметров традиционных видов транспорта после появления НВТС). По сравнению с исходным примером, спрос на услуги наиболее дешевого и тихоходного вида транспорта – железнодорожного – практически не изменился. Подавляющая доля перевозок в дальнем сообщении будет выполняться скоростными видами

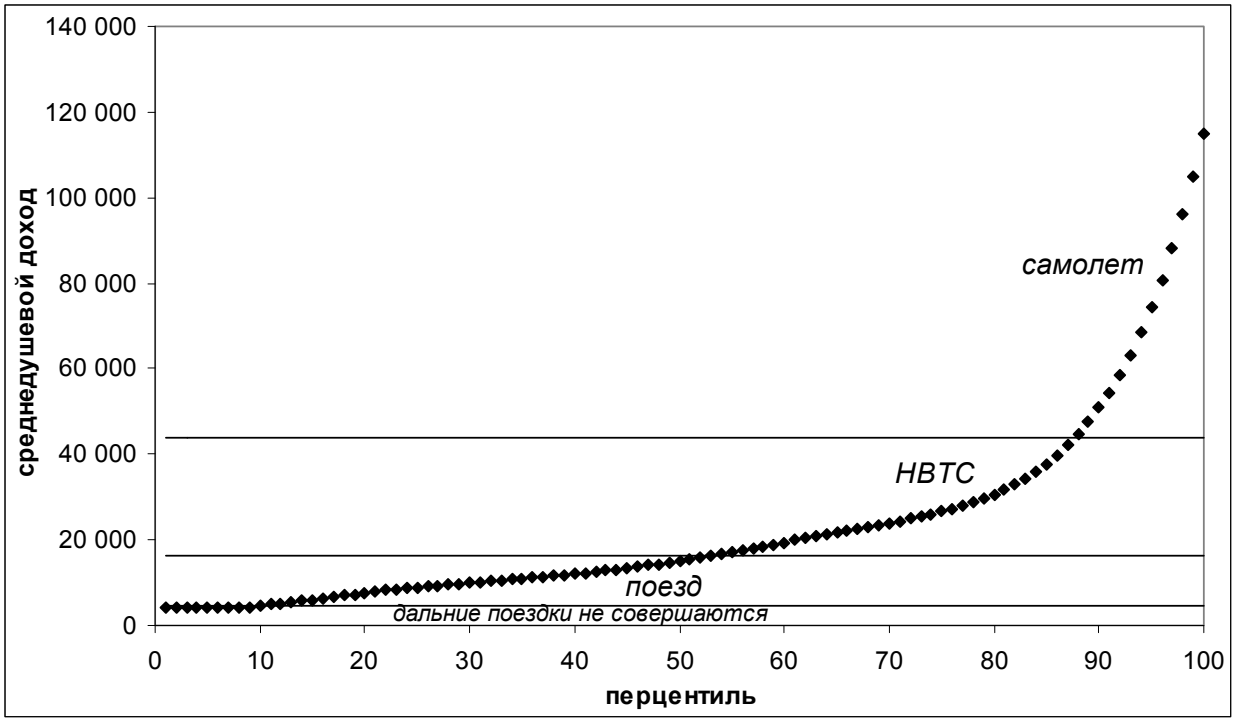


Рис. 5.5. Аппроксимация распределения населения России по доходам после удвоения душевых доходов, и пороговые значения душевого дохода

пассажирского транспорта, причем, наиболее существенно (почти в 4 раза) возрастет пассажирооборот воздушного транспорта – самого скоростного и дорогостоящего. Спрос на перевозки новым видом транспорта возрос незначительно – приблизительно на 20 %. По мере приближения благосостояния населения к показателям развитых стран, и, что немаловажно, сокращения дифференциации доходов, потребность в дешевых, а также «промежуточных» видах транспорта будет ослабевать. Однако такие изменения в России и других развивающихся странах потребуют значительного времени, сравнимого с длительностью жизненного цикла нового вида транспортных средств.

## 5.3. Комплексный анализ проблем и последствий повышения авиационной подвижности населения

Если удастся создать новый вид летательных аппаратов, позволяющий решить проблему массовой доступности авиаперевозок в России и во многих развивающихся странах мира, емкость новой рыночной ниши существенно превзойдет совокупную емкость всех ныне существующих рынков гражданской авиатехники, что, безусловно, благоприятно для авиационной промышленности. Однако столь глобальные изменения, как радикальное повышение доступности дальних поездок и подвижности населения, следует рассматривать в комплексе, с учетом разнообразных технико-экономических, социально-экономических и эколого-экономических

аспектов. Повышение доступности и скорости дальних поездок может оказывать существенное влияние не только на туристическую индустрию, транспорт и машиностроение, но и на другие отрасли экономики. Необходим комплексный анализ разнообразных последствий (экологических, технологических, социальных, политических, и т.д.) открытия той или иной новой ниши рынка авиатехники.

### *5.3.1. Энергетические и экологические проблемы повышения доступности авиаперевозок*

Пока услуги авиатранспорта доступны лишь нескольким процентам населения Земли, гражданская авиация не является ни главным потребителем углеводородного топлива, ни главным производителем вредных выбросов[1]. Однако достижение массовой доступности скоростных перевозок и многократное повышение подвижности населения может качественно изменить ситуацию. Широко известны оценки (например, выполненные в Институте математического моделирования РАН под руководством специалиста по глобальному моделированию проф. С.П. Капицы), согласно которым, если бы все человечество могло себе позволить принять стандарты потребления, характерные для США, уже через несколько лет планету постиг бы энергетический и экологический коллапс. Следовательно, рост доступности скоростных видов транспорта в глобальном масштабе, помимо позитивных социально-экономических эффектов, сопряжен с целым рядом рисков.

Как уже было отмечено в п. 2.3, воздействие транспорта на окружающую среду чрезвычайно многопланово. В числе главных факторов – шум и выбросы вредных веществ. Объемы выбросов различных веществ определяются произведениями индексов эмиссии (подробнее см. п. 2.3) на массу израсходованного топлива. Индексы эмиссии многих видов вредных веществ существенно зависят от экологического совершенства тепловых двигателей; относительно устойчив лишь индекс эмиссии углекислого газа ($CO_2$), составляющий около 3,125 т $CO_2$ на 1 т авиатоплива (керосина). Это означает, что, даже если выбросы прочих видов вредных веществ успешно снижаются по мере совершенствования двигателей, выбросы углекислого газа остаются приблизительно пропорциональными потреблению топлива и сокращаются только вместе с последним. При этом $CO_2$ относится к газам, вызывающим парниковый эффект. Кроме того, само по себе расходование исчерпаемых энергетических ресурсов имеет самостоятельное значение. Фактически, на примере воздушного транспорта здесь ставится вопрос, актуальный для многих наукоемких отраслей: совместимо ли обеспечение массовой доступности высокотехнологичных благ с соображениями устойчивого развития? Следует подчеркнуть, что здесь имеется в

[1] Согласно источнику [159], в 2007 г. гражданская авиация была ответственна лишь за 4,2 % общемировых выбросов $CO_2$.

виду массовая доступность в масштабах земного шара, а не только наиболее развитых в экономическом отношении стран (т.н. «золотого миллиарда»), в которых она уже достигнута, см. п. 5.2.

Итак, для оценки значимости энергетических и экологических рисков повышения подвижности населения, прежде всего, необходимо оценить изменение совокупного потребления топлива транспортными средствами после появления нового вида скоростного транспорта. Поскольку предполагается, что новый вид скоростного транспорта займет промежуточное положение между воздушным и железнодорожным как по стоимости перевозок, так и по скорости, вероятнее всего, при этом и показатели расхода топлива[1] будут ниже, чем у самолета, но выше, чем у наземных видов транспорта. На основе полученных выше оценок объемов перевозок и пассажирооборота различных видов транспорта, а также показателей удельного расхода топлива, можно построить прогноз изменения совокупного потребления топлива при появлении НВТС. Такой прогноз был выполнен при участии Т.И. Поповой. В структурную модель спроса на дальние перевозки, рассмотренную в п. 5.1, необходимо включить следующие модели:

- модель зависимости себестоимости перевозок от цены топлива;
- модель совокупного потребления топлива дальним пассажирским транспортом.

В дополнение к условным обозначениям, введенным в п. 5.1, введем следующие условные обозначения:

$g^k$ – удельный расход топлива на пассажиро-километр в крейсерском режиме $k$-м видом транспорта ($k$ может принимать значения «МС», «ЖД», «НВТС», соответственно, для самолета, поезда дальнего следования и нового вида скоростного транспорта);

$\Delta G^k_{\text{пост}}$ – постоянная составляющая расхода топлива на поездку в расчете на одного пассажира для $k$-го вида транспорта;

$p_{\text{ГСМ}}$ – цена топлива (предполагается, что виды топлива, используемые различными видами транспорта, приведены к единому эквиваленту).

Тогда можно выразить параметры функции стоимости поездки следующим образом:

$$p^k = p_{\text{ГСМ}} \cdot g^k + p^k_{\text{пр}}; \tag{5.15}$$

$$\Delta P^k_{\text{пост}} = p_{\text{ГСМ}} \cdot \Delta G^k_{\text{пост}} + \Delta P^k_{\text{пр}}, \tag{5.16}$$

где $p^k$ – километровый тариф на $k$-м виде транспорта;

$\Delta P^k_{\text{пост}}$ – постоянная часть тарифа на $k$-м виде транспорта;

[1] Будем считать, что все виды углеводородных топлив, потребляемых различными видами транспорта, можно привести к единому эквиваленту, и все показатели объема и расхода топлива могут выражаться в сопоставимых единицах.

$p_{\text{пр}}^{k}$, $\Delta P_{\text{пр}}^{k}$ – прочие (нетопливные) составляющие, соответственно, километрового тарифа и постоянной части тарифа на $k$-м виде транспорта. Также, на основе полученных в п. 5.1 оценок пассажирооборота и объема перевозок, можно оценить совокупное потребление топлива $k$-м видом транспорта:

$$F_{\Sigma}^{k} = g^{k} W_{\Sigma}^{k} + \Delta G_{\text{пост}}^{k} \cdot X_{\Sigma}^{k}, \tag{5.17}$$

где $W_{\Sigma}^{k}$ – пассажирооборот $k$-го вида транспорта;

$X_{\Sigma}^{k}$ – объем перевозок на $k$-м виде транспорта.

Суммируя величины $\left\{F_{\Sigma}^{k}\right\}$, можно оценить суммарное потребление топлива для выполнения дальних перевозок:

- до появления НВТС

$$F_{\Sigma} = F_{\Sigma}^{\text{МС}} + F_{\Sigma}^{\text{ЖД}}, \tag{5.20}$$

- и после появления НВТС

$$F_{\Sigma}' = F_{\Sigma}^{\prime,\text{МС}} + F_{\Sigma}^{\prime,\text{ЖД}} + F_{\Sigma}^{\text{НВТС}}, \tag{5.21}$$

где $F_{\Sigma}^{\text{МС}}$, $F_{\Sigma}^{\text{ЖД}}$ – суммарное потребление топлива, соответственно, самолетами и поездами до появления НВТС;

$F_{\Sigma}^{\prime,\text{МС}}$, $F_{\Sigma}^{\prime,\text{ЖД}}$ – суммарное потребление топлива, соответственно, самолетами и поездами после появления НВТС;

$F_{\Sigma}^{\text{НВТС}}$ – суммарное потребление топлива НВТС.

Поскольку цена топлива влияет на тарифы, тарифы определяют спрос на перевозки, а последний определяет совокупное потребление топлива, можно построить зависимость потребления топлива различными видами транспорта от цены топлива, т.е. кривую спроса на топливо для дальних перевозок (соответственно, $F_{\Sigma}\left(p_{\text{ГСМ}}\right)$ до появления НВТС и $F_{\Sigma}'\left(p_{\text{ГСМ}}\right)$ – после). При заданных параметрах социально-экономической ситуации в стране (распределении населения по доходам и т.п.), вид кривой спроса на топливо будет зависеть от технико-экономических характеристик транспортных средств – крейсерской скорости, показателей удельного расхода топлива, а также нетопливных компонент тарифа и постоянной составляющей длительности поездки.

Вначале построим кривую совокупного спроса на топливо в отсутствие НВТС $F_{\Sigma}\left(p_{\text{ГСМ}}\right)$, принимая следующие технико-экономические характеристики магистральных самолетов и поездов дальнего следования, см. табл. 5.4.

Предполагается, что к моменту появления НВТС парк авиакомпаний будет полностью укомплектован современными воздушными судами, имеющими удельный расход топлива в крейсерском режиме порядка 18–22 г/пасс.-км, а не 30–40 г/пасс.-км, что характерно для самолетов поколения Ту-154, см. табл. 2.1. Скоростные и временны**е** характеристики поездки на

*Таблица 5.4*

Технико-экономические характеристики воздушного и железнодорожного транспорта

| Показатель \ вид транспорта | МС | ЖД |
|---|---|---|
| Километровый расход топлива, г/пасс.-км | 22 | 7 |
| Постоянный расход топлива на поездку, кг/пасс. | 20 | 5 |
| Нетопливная составляющая километрового тарифа, руб./пасс.-км | 1,0 | 0,2 |
| Нетопливная составляющая постоянной части тарифа, руб./пасс. | 1000 | 300 |
| Крейсерская скорость, км/ч | 800 | 50 |
| Постоянная составляющая длительности поездки, ч | 3 | 1 |

поезде и самолете взяты из табл. 5.2 без изменений. Предположим, что численность населения, значение прожиточного минимума и данные о доходах процентных групп соответствуют показателям России в 2007 г., использованным в п. 5.1. Параметры модели спроса на перевозки (доля расходов на дальние поездки, отношение стоимости часа пассажира к его доходу) также примем равными использованным в п. 5.1. Такие исходные данные обеспечивают преемственность расчетов, проводимых в данном разделе, с расчетами, выполненными в п. 5.1. На рис. 5.6 приведена полученная в данном примере кривая совокупного спроса[1] на топливо для дальних перевозок.

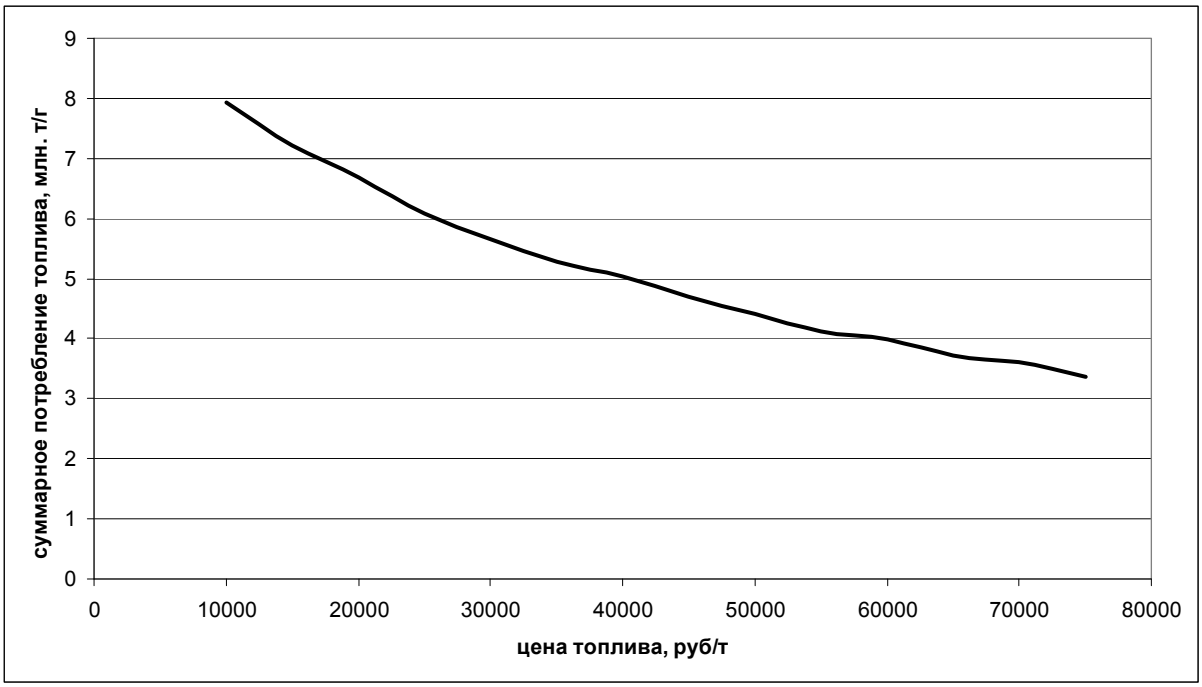


Рис. 5.6. Кривая спроса на топливо для дальних перевозок до появления НВТС

[1] Хотя по традиции, сложившейся в экономической теории, при изображении кривых спроса цена откладывается по вертикальной оси, а объем спроса – по горизонтальной, здесь принято более привычное в естественных и технических науках расположение осей: по оси абсцисс – аргумент (цена), по оси ординат – значение функции (объем спроса).

Далее рассмотрим несколько вариантов технико-экономических характеристик НВТС, приведенных в табл. 5.5.

*Таблица 5.5*

Возможные технико-экономические характеристики новых видов транспортных средств

| Показатель \ вариант НВТС | *a* | *b* | *c* |
|---|---|---|---|
| Километровый расход топлива, г/пасс.-км | 15 | 18 | 10 |
| Постоянный расход топлива на поездку, кг/пасс. | 10 | 15 | 7 |
| Нетопливная составляющая километрового тарифа, руб./пасс.-км | 0,3 | 0,8 | 0,8 |
| Нетопливная составляющая постоянной части тарифа, руб./пасс. | 500 | 800 | 800 |
| Крейсерская скорость, км/ч | 300 | 600 | 300 |
| Постоянная составляющая длительности поездки, ч | 1 | 2,5 | 2 |

Вариант (*a*) примерно соответствует параметрам НВТС, использованным в п. 5.1. В отличие от предыдущего, НВТС типа (*b*) имеет крейсерскую скорость и километровый расход топлива, а также значения постоянных составляющих стоимости, длительности поездки и расхода топлива на поездку, лишь ненамного ниже, чем у реактивного самолета. Такие значения параметров могут соответствовать, например, самолету с ТВД[1]. Вариант (*c*) близок к варианту (*a*) по скоростным и временны**ы**м характеристикам поездки, но обладает существенно более низким расходом топлива, близким к показателям наземного транспорта. При этом учитывается, что повышение топливной экономичности может быть сопряжено с удорожанием самих транспортных средств и их обслуживания (т.е. нетопливные составляющие тарифа близки к таковым для реактивного самолета).

На рис. 5.7 приведены кривые совокупного спроса на топливо для дальних перевозок при появлении НВТС, соответствующие вариантам (*a*–*c*). Также, для сравнения, показана исходная кривая спроса в отсутствие НВТС.

Из рисунка видно, что, несмотря на значительное повышение топливной экономичности НВТС в варианте (*a*) по сравнению с современными пассажирскими самолетами, совокупный спрос на топливо существенно возрастет. Некоторый прирост спроса на топливо наблюдается и при появлении НВТС с параметрами варианта (*b*), хотя он также экономичнее реактивного самолета. Такой, на первый взгляд, парадоксальный эффект хорошо известен в экономике топливно-энергетического комплекса, и носит название *эффекта рикошета* [14, 163]: при снижении удельного расхода топлива, его совокупное потребление может возрастать. Структурная модель спроса на перевозки, используемая в данной работе, позволяет наглядно показать природу этого эффекта. Согласно предпосылкам данной модели, пассажир, в соответствии со своим уровнем дохода и оценкой стоимости времени, выбирает тот вид транспорта, который обеспечит ему максимальную дальность поездок. Для различных доходных групп возможно два случая.

[1] В частности, исследуются (см., например, [57, 148]) турбовинтовентиляторные двигатели (ТВВД), которые, как ожидается, могут обеспечить значительное сокращение удельного расхода топлива, по сравнению с ТРДД, без существенной потери крейсерской скорости.

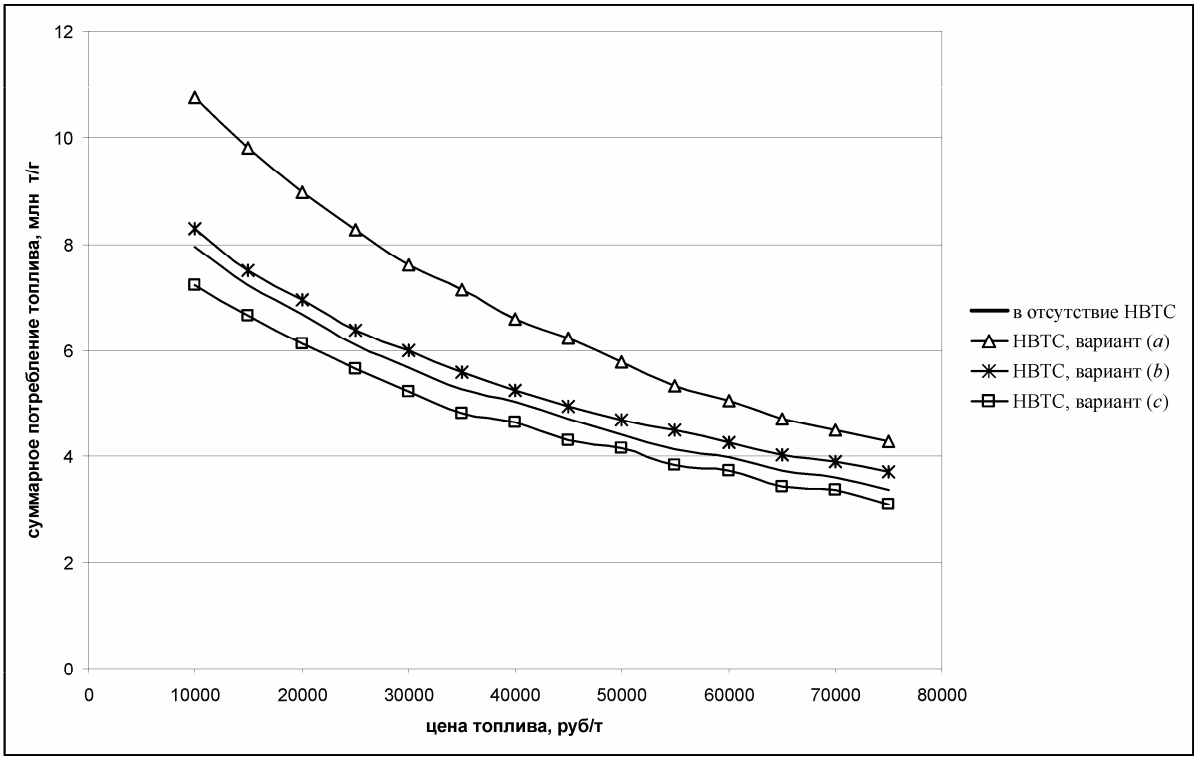


Рис. 5.7. Изменение спроса на топливо при появлении НВТС

1) Если услугами нового вида транспорта начинает пользоваться пассажир, до того предпочитавший железнодорожный транспорт, одновременно возрастают и подвижность, и средний расход топлива. Поэтому для этой категории потенциальных клиентов годовое потребление топлива в расчете на одного пассажира определенно возрастет. Строго говоря, данная категория пассажиров переключилась не на более экономичный (как предполагается «по умолчанию» при анализе эффекта рикошета), а на менее экономичный вид транспорта.

2) Если же изначально пассажир пользовался услугами авиатранспорта, подвижность возрастает, но расход топлива на пассажиро-километр и постоянный расход топлива на поездку сокращаются. Поэтому годовое потребление топлива изменяется неоднозначным образом. Рассмотрим изменение индивидуального (для данного пассажира) потребления авиатоплива при переходе с традиционных самолетов на НВТС. Индивидуальное потребление авиатоплива на единственную в году поездку пассажира, обладающего доходом $M_i$ и пользующегося $k$-м видом транспорта, можно найти, пользуясь формулой (5.5) для дальности поездки:

$$f_i^k = \Delta G_{\text{пост}}^k + g^k \cdot L_i^k = \Delta G_{\text{пост}}^k +$$

$$+ g^k \cdot \frac{0{,}5\alpha\left(M_i - M_{\min}\right) - z \cdot \Delta T_{\text{пост}}^k - \overbrace{p_{\text{ГСМ}} \cdot \Delta G_{\text{пост}}^k - \Delta P_{\text{пр}}^k}^{\Delta P_{\text{пост}}^k}}{\underbrace{p_{\text{ГСМ}} \cdot g^k + p_{\text{пр}}^k}_{p^k} + \frac{z}{v^k}}. \qquad (5.22)$$

Поскольку НВТС может обеспечивать, по сравнению с самолетом, не только более низкие значения расхода топлива, но и меньшие значения прочих затрат, постоянной составляющей времени поездки и т.д., даже при неизменной доле дохода, выделяемой на поездки, может выполняться следующее неравенство:

$$f_i^{\text{НВТС}} > f_i^{\text{МС}},$$

соответствующее эффекту рикошета. На рис. 5.8 изображено изменение среднедушевого потребления топлива, рассчитанного по формуле (5.22) при появлении НВТС в варианте (*а*), в котором наиболее сильно проявляется эффект рикошета. Сравнение значений индивидуального потребления топлива до и после появления НВТС для различных доходных групп наглядно иллюстрирует все описанные выше эффекты. Для некоторых перцентилей изменений нет, поскольку их представители не меняют своего потребительского поведения: как и ранее, перцентили с 1-го по 33-й вообще не совершают дальних поездок, перцентили с 34-го по 58-й продолжают пользоваться железнодорожным транспортом, а с 96-го по 100-й – традиционным самолетом. Представители перцентилей с 59-го по 87-й сменили поезд на НВТС, и резко увеличили душевое потребление топлива. Представители 88-го-95-го перцентилей, ранее пользовавшиеся услугами авиатранспорта, теперь пользуются НВТС, причем, для 91-го-95-го перцентилей потребление топлива сократилось, а для 88-го-90-го перцентилей потребление топлива даже возросло, несмотря на снижение удельного расхода топлива, поскольку подвижность возросла еще в большей степени.

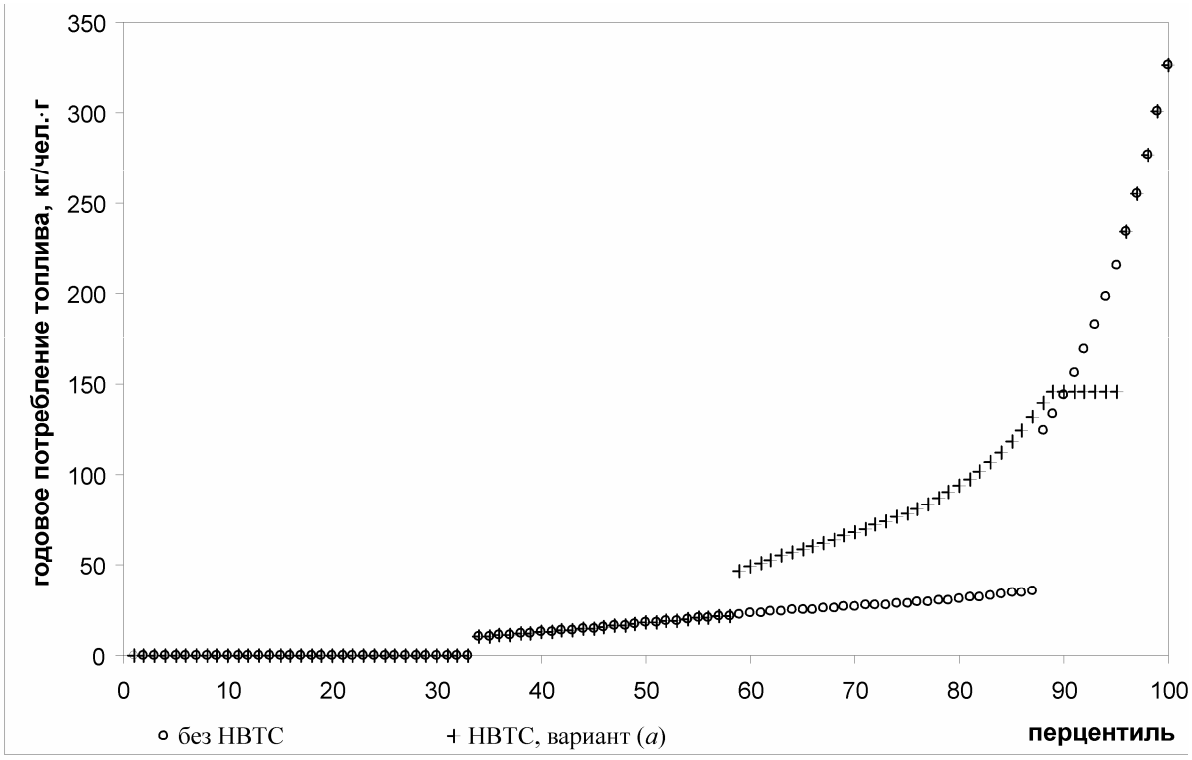


Рис. 5.8. Изменение душевого потребления топлива при появлении НВТС

Таким образом, можно выделить два возможных объяснения эффекта рикошета.

1) При появлении более экономичных изделий, ими начинают пользоваться потребители, которые раньше, на самом деле, пользовались еще более экономичными изделиями других сегментов рынка.

2) Помимо топливных затрат, при появлении новых изделий сокращаются и прочие составляющие стоимости и длительности поездки.

На макроэкономическом уровне выделяют еще один системный эффект [163]. Внедрение новой техники может привести к изменению доходов определенных групп потребителей или доли дохода, выделяемой на данную группу благ (в данном случае, дальние поездки).

Итак, для одних доходных групп населения индивидуальное потребление топлива при появлении НВТС повышается, для других может и понизиться. Знак изменения совокупного потребления авиатоплива (и, соответственно, наличие или отсутствие эффекта рикошета) зависит от распределения населения по доходам, и в каждом конкретном случае может оцениваться с помощью структурных моделей, представленных выше.

Поскольку основной целью создания НВТС считается повышение доступности дальних поездок, и, как следствие, емкости рынка транспортных средств, целесообразно оценить прирост пассажирооборота при появлении НВТС с теми или иными параметрами. На рис. 5.9 изображены графики зависимостей суммарного пассажирооборота в дальнем сообщении от цены ГСМ до внедрения НВТС и после появления трех вариантов НВТС, перечисленных в табл. 5.5.

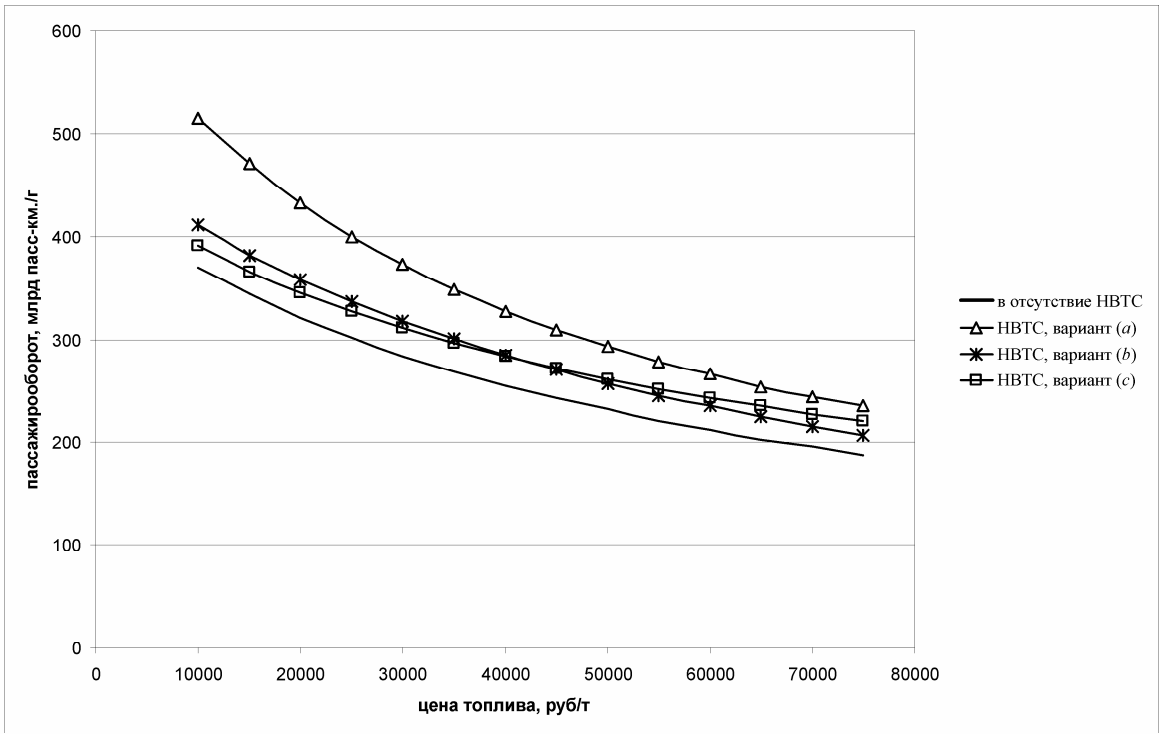


Рис. 5.9. Изменения суммарного пассажирооборота в дальнем сообщении при появлении НВТС

Из рисунка видно, что наибольший прирост пассажирооборота обеспечивает вариант (*a*). Однако при повышении цены ГСМ, это преимущество сокращается. Также следует отметить, что при высоких ценах ГСМ внедрение НВТС с параметрами, соответствующими варианту (*c*), обеспечивает почти такой же прирост пассажирооборота, как и вариант (*a*). Но даже при самых низких из рассмотренных цен ГСМ, прирост суммарного пассажирооборота в дальнем сообщении, достигаемый благодаря внедрению НВТС, не превышает 20–25 % (при неизменной цене ГСМ).

Поскольку внедрение НВТС нацелено, прежде всего, на повышение доступности скоростных перевозок, на повышение качества транспортного обслуживания населения, целесообразно отдельно рассмотреть изменение пассажирооборота скоростных видов транспорта: реактивных самолетов и НВТС (после появления последних). Соответствующие графики, аналогичные изображенным на рис. 5.9, приведены на рис. 5.10. Качественно соотношение между исходным состоянием (до появления НВТС) и вариантами (*a*–*c*) не изменилось. Однако прирост пассажирооборота скоростных видов транспорта, в отличие от прироста суммарного пассажирооборота, уже является значительным. В варианте (*a*) прирост может быть более чем двукратным. При высоких значениях цены ГСМ вариант (*c*) также обеспечивает почти двукратный прирост пассажирооборота скоростных видов транспорта.

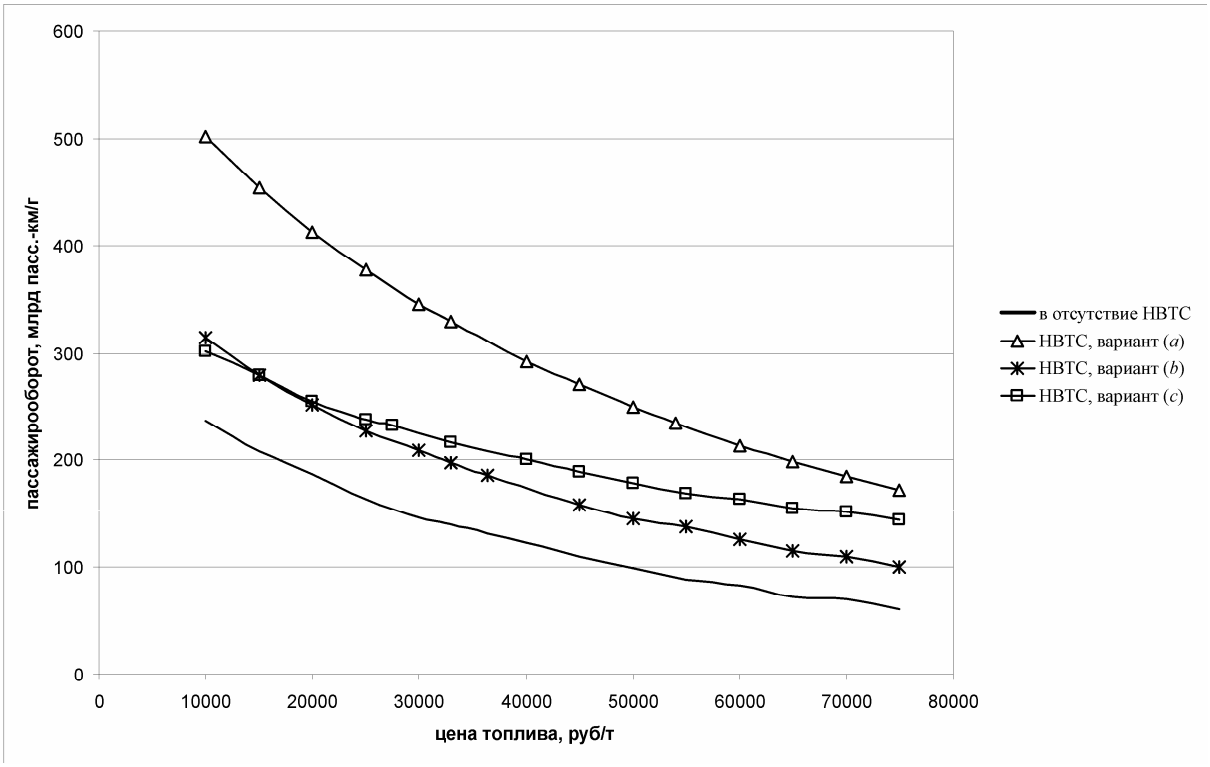


Рис. 5.10. Изменения пассажирооборота скоростных видов транспорта при появлении НВТС

Строго говоря, рассматривать изменение пассажирооборота и потребления авиатоплива при неизменной цене последнего некорректно. В глобальных масштабах рост потребления энергоресурсов при появлении новых видов скоростного транспорта, вероятнее всего, вызовет рост их цены, что, в свою очередь, повлияет на себестоимость и доступность перевозок. Анализ последствий таких изменений требует построения модели взаимодействия транспорта и топливно-энергетического комплекса на рынке ГСМ. Необходимо построить кривую предложения[1] топлива, показывающую, сколько топлива будет поставлено при данной цене. Это требует глубоких исследований экономики топливно-энергетического комплекса, выходящих далеко за рамки данной работы (подобные прогнозы получены, например, в [28]). Для получения крайних прогнозов, оптимистического и пессимистического (с точки зрения развития скоростных перевозок) можно рассмотреть два предельных случая реакции поставщиков ГСМ на повышение спроса на топливо:

I) при неизменной цене топлива (равной исходной до появления НВТС), будет поставлено любое желаемое количество (*абсолютно эластичное* предложение топлива, т.е. горизонтальная кривая предложения);

II) при любой цене топлива, будет поставлено неизменное (равное исходному до появления НВТС) количество (*абсолютно неэластичное* предложение топлива, т.е. вертикальная кривая предложения).

В реальности кривая предложения может иметь неотрицательный наклон и располагаться между ними. Случай (I) обеспечивает минимальную себестоимость и доступность перевозок, и потому соответствует оптимистическому сценарию развития рынков перевозок и транспортных средств, а случай (II) – пессимистическому. На рис. 5.11 изображены кривые спроса на топливо (исходная и после появления НВТС с теми или иными характеристиками), а также «крайние» кривые предложения топлива, соответствующие случаям (I) и (II). Все возможные кривые предложения, очевидно, пересекают исходную кривую спроса на топливо (без НВТС) в точке нынешнего равновесия. Принимая текущую цену авиатоплива равной 33 000 руб./т (см. [191]), найдем на рис. 5.11 ординату соответствующей точки на исходной кривой спроса: 5,5 млн т/г.

Из рисунка видно, что в оптимистическом сценарии, т.е. при неизменной цене авиатоплива, его совокупное потребление изменится следующим образом:

- в варианте (*a*) – возрастет с 5,5 до 7,3 млн т/г, т.е. на 33 %;
- в варианте (*b*) – возрастет с 5,5 до 5,8 млн т/г, т.е. менее, чем на 5 %;
- в варианте (*c*) – сократится с 5,5 до 5,1 млн. т/г, т.е. на 7%.

[1] Строго говоря, кривую предложения можно построить только для конкурентного рынка, а применительно к рынку ГСМ, особенно в России, такое предположение не всегда оправдано. Если рынок ГСМ – монопольный, кривой предложения не существует, а монополист выбирает на кривой спроса оптимальную для себя точку (например, соответствующую максимуму его прибыли).

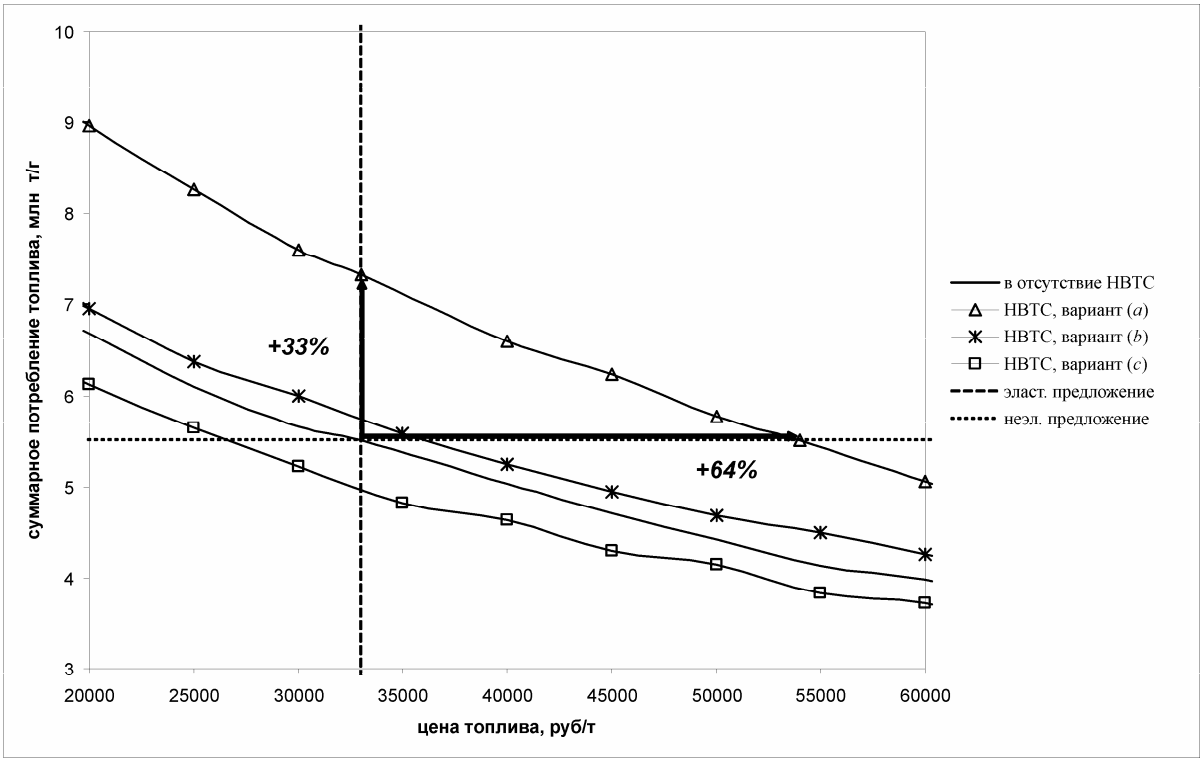


Рис. 5.11. Изменения конъюнктуры рынка топлива при появлении НВТС

В двух последних случаях прогнозируемые изменения потребления топлива лежат в пределах погрешностей применяемых здесь упрощенных моделей. Однако в варианте (*a*) можно с большой долей уверенности прогнозировать, что спрос на авиатопливо действительно существенно возрастет.

Пропорционально потреблению авиатоплива возрастут и выбросы $CO_2$, т.е. этот сценарий является пессимистическим с точки зрения экологии. Однако он, как говорилось выше, соответствует максимально возможному приросту пассажирооборота. Значения пассажирооборота в дальнем сообщении до и после появления НВТС, рассчитанные с помощью соотношений (5.1–5.7) и (5.12–5.13), приведены в табл. 5.6. Особо выделен пассажирооборот скоростных видов транспорта.

*Таблица 5.6*

Пассажирооборот в дальнем сообщении при появлении НВТС
(совершенно эластичное предложение топлива)

| Показатель \ вариант НВТС | Без НВТС | *a* | *b* | *c* |
|---|---|---|---|---|
| Пассажирооборот, млрд пасс.-км/г | 275 | 358 (+ 30 %) | 308 (+ 12 %) | 302 (+ 10 %) |
| *в т.ч., скоростных видов транспорта* | 140 | 329 (+ 135 %) | 197 (+ 41 %) | 216 (+ 54 %) |

Таким образом, при неизменной цене ГСМ можно ожидать существенного прироста пассажирооборота скоростных видов транспорта благодаря появлению НВТС. В варианте (*a*) прирост будет более чем двукрат-

ным, и даже в наименее благоприятном варианте (*b*) его следует признать существенным.

Однако в пессимистическом случае, т.е. при совершенно неэластичном предложении авиатоплива, при появлении НВТС равновесная цена ГСМ изменится следующим образом:

- в варианте (*a*) – возрастет с 33 000 до 54 000 руб./т, т.е. на 64 %;
- в варианте (*b*) – возрастет с 33 000 до 36 400 руб./т, т.е. на 10 %;
- в варианте (*c*) – сократится с 33 000 до 27 500 руб./т, т.е. на 17 %.

В табл. 5.7 приведены новые значения равновесной цены авиатоплива после внедрения НВТС, а также соответствующие им значения пассажирооборота в дальнем сообщении (в т.ч. скоростных видов транспорта).

*Таблица 5.7*

Пассажирооборот в дальнем сообщении при появлении НВТС
(совершенно неэластичное предложение топлива)

| Показатель \ вариант НВТС | Без НВТС | *a* | *b* | *c* |
|---|---|---|---|---|
| Равновесная цена авиатоплива, руб./т | 33 000 | 54 000 (+ 64 %) | 36 400 (+ 10 %) | 27 500 (– 17 %) |
| Пассажирооборот, млрд пасс.-км/г | 275 | 281 (+ 2 %) | 296 (+ 8 %) | 318 (+ 16 %) |
| *в т.ч., скоростных видов транспорта* | 140 | 234 (+ 67 %) | 185 (+ 32 %) | 232 (+ 66 %) |

Таким образом, из-за удорожания топлива при появлении НВТС с параметрами варианта (*a*), суммарный пассажирооборот в дальнем сообщении, возрастет вместо 30 % при неизменной цене авиатоплива, всего на 2 %. Такой ожидаемый прирост пассажирооборота в дальнем сообщении лежит в пределах погрешностей используемых здесь упрощенных моделей. Впрочем, прирост пассажирооборота скоростных видов транспорта и в данном случае весьма значителен (67 %). Однако аналогичного прироста позволяет достичь и внедрение НВТС с параметрами варианта (*c*), хотя оно не сопровождается повышением потребления топлива, его удорожанием и увеличением объема выбросов $CO_2$.

Хотя рассмотренные варианты характеристик НВТС (*a*), (*b*) и (*c*) являются условными (а иное и невозможно на данном этапе, когда, как уже было сказано, даже не определен тип нового вида транспорта), они достаточно характерны, и на основе их анализа можно сделать качественные выводы о наиболее предпочтительном направлении улучшения характеристик скоростных транспортных средств. Можно заметить, что вариант (*a*) предусматривал существенное повышение доступности перевозок, главным образом, за счет снижения нетопливных составляющих тарифа. При этом эффект рикошета проявляется наиболее сильно, поскольку спрос на перевозки возрастает сильнее, чем сокращается удельный расход топлива, так что их произведение определенно возрастет. Если предложение топли-

ва будет совершенно неэластичным, последующее удорожание топлива существенно ослабит ожидаемое повышение доступности скоростного пассажирского транспорта. Если же предложение топлива будет абсолютно эластичным, существенно возрастет не только пассажирооборот, но и потребление топлива, а также выбросы $CO_2$. Т.е. этот вариант сопряжен с высоким уровнем системных рисков (экологических, энергетических и т.п.).

Вариант (*b*), как уже было отмечено, по своим параметрам весьма близок к современным пассажирским самолетам с ТРДД, и, согласно результатам модельных расчетов, уже при цене авиатоплива порядка 25 000 руб./т полностью вытесняет реактивные самолеты (поскольку удешевление перевозок компенсирует незначительный проигрыш в скорости). При этом суммарное потребление топлива и выбросы $CO_2$ меняются незначительно, однако и прирост пассажирооборота, достижимый в этом случае, является наименьшим из всех рассмотренных вариантов. Т.е. появление подобных НВТС вряд ли повлечет за собой существенные негативные последствия, однако не принесет и значительного положительного эффекта. Близкими, с технико-экономической точки зрения, к такому варианту НВТС можно считать услуги *низкотарифных* авиакомпаний, получившие широкое распространение в 1990–2000-е гг. в США и Западной Европе. Эти перевозчики достигают снижения тарифов, в основном, за счет сокращения нетопливных составляющих себестоимости перевозок (по классификации предложенной здесь модели). Экономия достигается за счет сокращения (или полного исключения) сервиса на борту, выполнения рейсов в ночное время, использования малозагруженных аэропортов, удаленных от центра города. При этом возрастает постоянная составляющая времени в пути. Поскольку низкотарифные перевозки выполняются на современных самолетах с ТРДД, показатели удельного расхода топлива не изменяются, что, в сочетании с повышением доступности перевозок, приводит к пропорциональному повышению спроса на ГСМ. И хотя низкотарифным авиакомпаниям удавалось достигать увеличения пассажирооборота даже в периоды кризиса мировой гражданской авиации[1], этот рост достигался, в основном, за счет привлечения пассажиров, ранее пользовавшихся традиционным авиатранспортом, а не наземным. Т.е. эта стратегия, эффективная для самих авиакомпаний, не может привести к радикальному повышению доступности скоростных перевозок и емкости рынка гражданской авиатехники.

Наконец, вариант (*c*) предусматривает существенное повышение доступности перевозок, в первую очередь – за счет снижения удельного расхода топлива, при относительно высоких значениях прочих, нетопливных затрат (амортизации, стоимости ТОиР и др.) При этом, с одной стороны, достигается повышение доступности скоростных перевозок, но, с другой стороны, оно не сопровождается значительным повышением потреб-

[1] Попытка экономического анализа феномена низкотарифных авиакомпаний была предпринята при участии Ю.Е. Кондратова [86].

ления авиатоплива или его цены. Именно этот вариант наиболее предпочтителен со следующих точек зрения:

- с экологической (поскольку отсутствует риск бурного роста потребления топлива и выбросов $CO_2$);
- с социальной (поскольку значимо возрастает доступность скоростных видов пассажирского транспорта);
- с точки зрения интересов авиационной промышленности, для которой открывается новая, весьма емкая ниша рынка авиатехники.

Важно подчеркнуть, что, помимо прироста абсолютного значения выручки авиационной промышленности, в данном случае в ее пользу изменяется и распределение доходов. Вспомним, что в варианте (*c*), в противоположность варианту (*a*), возрастает доля нетопливных затрат в стоимости пассажиро-километра и сокращается доля топливных. В свою очередь, нетопливные затраты авиакомпаний (амортизация воздушных судов, затраты на ТОиР, и т.п.), в основном, составляют выручку авиационной промышленности, а топливные – соответственно, доход топливно-энергетического комплекса. Напротив, появление НВТС в варианте (*a*), хотя и обеспечило бы прирост абсолютного дохода авиационной промышленности, но лишь ценой еще большего прироста доходов поставщиков авиатоплива. Т.е. доля авиационной промышленности в национальном доходе сократилась бы, а доля топливно-энергетического комплекса – возросла. Таким образом, даже инновации, направленные, на первый взгляд, на укрепление рыночных позиций авиационной промышленности, могут, в реальности, привести к ослаблению роли авиастроения в макроэкономическом масштабе. В современной российской экономике наблюдается преобладание сырьевых отраслей в ущерб высокотехнологичной обрабатывающей промышленности. Изменение соотношения доходов в пользу наукоемкого и высокотехнологичного сектора является одной из важнейших стратегических задач экономического развития России, поэтому эффективность инноваций (в т.ч. создания НВТС) необходимо оценивать и с точки зрения межотраслевого распределения доходов. С этих позиций вариант (*a*) влечет за собой, скорее, негативные последствия, вариант (*b*) близок к нейтральному, а наиболее целесообразным следует признать вариант (*c*).

Разумеется, задача оптимального выбора проектных параметров НВТС является многокритериальной. Однако здесь представлены подходы к комплексной оценке основных критериев (пассажирооборота, потребления и цены ГСМ и т.п.), которые можно использовать для объективного расчетного обоснования принимаемых решений.

Описанные случаи (I) и (II) считаются крайними, поскольку предполагается, что в реальности кривая предложения авиатоплива имеет положительный наклон и располагается между горизонтальной и вертикальной кривыми предложения на рис. 5.11. В этом случае, действительно, при появлении НВТС с данными характеристиками, цены и объемы реализации

авиатоплива не выйдут за полученные выше пределы. Однако в долгосрочной перспективе, соответствующей появлению и массовому распространению НВТС, и предложение авиатоплива может претерпеть качественные изменения, которые приведут к сдвигу кривой предложения. Так, если, по мере исчерпания запасов нефти, она будет дорожать, это приведет к росту издержек поставщиков авиатоплива, и кривая предложения авиатоплива на рис. 5.11 сместится вправо-вниз. При этом даже в самом благоприятном случае пассажирооборот при появлении НВТС возрастет заведомо меньше, чем указано в табл. 5.6 и 5.7. Напротив, если вместо авиатоплива, получаемого из нефти, удастся освоить производство биотоплива, обеспечив низкий уровень издержек, кривая предложения на рис. 5.11 сместится влево-вверх, и прирост пассажирооборота благодаря распространению НВТС будет заведомо выше, чем указано в табл. 5.6 и 5.7. Однако прогнозирование изменений предложения авиатоплива, как было сказано выше, требует детального анализа экономики ТЭК. Здесь можно привести лишь некоторые качественные соображения по поводу долговременных перспектив рынка авиатоплива. Если критическая значимость рынка ГСМ для гражданской авиации не подлежит сомнению, то для топливно-энергетического комплекса рынок авиационного топлива, на первый взгляд, не играет столь существенной роли. В настоящее время на долю авиатоплива приходится не более 6–7 % продукции нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей [170]. Объемы его производства и в России, и за рубежом на порядок ниже объемов выпуска других моторных топлив – автомобильного бензина, дизельного топлива и т.п. Тем не менее, в долговременной перспективе важность этого рынка для ТЭК может возрасти многократно. Возможная причина состоит в том, что рынок авиатоплива, вероятно, станет последним рынком моторных топлив, получаемых из ископаемой нефти. В пользу такого прогноза говорят следующие соображения. По мере удорожания нефти и нефтепродуктов, все больше отраслей транспорта и энергетики будет, по возможности, ориентироваться на альтернативные энергоносители или методы обеспечения энергией, которые будут становиться все более выгодными. Однако воздушный транспорт способен на такой переход в наименьшей степени в силу технических особенностей. Возможности подвода энергии (получаемой без сжигания химического топлива) извне, доступные большинству наземных транспортных средств, в авиации практически отсутствуют. Т.е. источник энергии должен находиться на борту. Мощность возобновляемых источников энергии (например, солнечной) оказывается достаточной только для относительно легких беспилотных летательных аппаратов. Этим же сегментом ограничивается пока применимость электрических аккумуляторов, в силу их малой массовой энергоемкости. Размещение ядерной силовой установки на борту летательного аппарата было признано нецелесообразным, в т.ч. по соображениям безопасности (подробнее см., например, [47]). Оста-

ется химическое топливо. Использование в авиации криогенных топлив (например, водорода) сопряжено с целым рядом проблем. Традиционное углеводородное топливо обладает целым рядом достоинств в качестве авиационного топлива: высокая энергоемкость (как объемная, так и массовая), возможность хранения в баках сложной формы, интегрированных в конструкцию летательного аппарата, при изменяющемся атмосферном давлении и без поддержания специального температурного режима, и т.п. Кроме того, в силу экономических особенностей – относительной дороговизны оказываемых услуг и высокой готовности потребителей платить за них – воздушный транспорт в меньшей степени нуждается в отказе от углеводородного горючего, несмотря на удорожание нефти. Таким образом, есть веские основания полагать, что в долгосрочной перспективе именно рынки авиатоплива станут важнейшими рынками сбыта продукции нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей.

Как показано в данном разделе, а также в п. 2.1.3 и в главе 3, отдаленное будущее авиации во многом определяется перспективами развития топливно-энергетического комплекса, возможностями освоения массового производства доступных возобновляемых и экологически чистых энергоносителей. Разумеется, анализ таких возможностей выходит за рамки данной работы.

### *5.3.2. Ограничения и риски повышения доступности скоростных перевозок*

Предполагаемое радикальное повышение авиационной подвижности населения требует решения еще целого ряда проблем, помимо описанных выше. Ниже описаны лишь некоторые проблемы, которыми сопровождается развитие новых видов скоростного транспорта.

1. *Обеспечение безопасности интенсивного воздушного движения.* Страны с высокой интенсивностью воздушного сообщения (например, США) в течение ряда лет сталкиваются с проблемами перегруженности аэропортов и воздушных трасс [178, 182, 183]. Многократное повышение подвижности населения может привести к усугублению этих проблем. Необходимо обеспечить качественно новый уровень управления воздушным движением (УВД), позволяющий кардинально повысить как интенсивность, так и безопасность полетов различных транспортных средств. В национальном плане исследований и разработок в сфере авиации, принятом в США [165], этой проблеме уделяется первоочередное внимание.

2. *Развитие аэродромной инфраструктуры.* В густонаселенных регионах мира уже в течение нескольких десятилетий остро стоит проблема землеотвода под аэропорты, снижения качества среды проживания населения в зоне аэропортов. Эта проблема тесно переплетается с экологическими проблемами шума, эмиссии вредных веществ и т.п. Однако в малонаселенных регионах развитие авиатранспорта сопряжено с иными, не менее

сложными проблемами. Как в России, так и во многих развивающихся странах (в особенности, в странах АТР) рост доступности авиационного транспорта сдерживается не только низким уровнем доходов большинства населения, но и слабым развитием инфраструктуры. В настоящее время существенная часть территории России не имеет не только железнодорожной сети и автодорог с твердым покрытием, но и современных аэропортов, причем, даже ныне существующая сеть аэропортов сокращается [185]. Вопреки распространенному стереотипу, такие факторы, как большие расстояния, малая плотность населения и слабое развитие наземного транспорта на большей части территории России не способствуют, а как раз препятствуют развитию воздушного транспорта. В этих условиях время и стоимость проезда на подвозящем транспорте до и от аэропорта, а также время ожидания рейса могут возрасти до неприемлемо высокого уровня. В связи с этим, особое внимание при проработке концепций НВТС следует уделить допустимым условиям эксплуатации новых транспортных средств (применительно к летательным аппаратам – взлетно-посадочным характеристикам). Возможно, окажется целесообразным обеспечить неприхотливость новых видов транспортных средств к качеству наземной инфраструктуры (особенно в малонаселенных местностях). Также для сокращения межрейсовых интервалов целесообразно использование воздушных судов малой вместимости, однако при этом неизбежно повышение удельного расхода топлива и себестоимости перевозок, по сравнению с современными магистральными самолетами. Возникает проблема совместной оптимизации параметров перспективных транспортных средств, аэродромной и маршрутной сети, т.е. комплексной оптимизации авиатранспортной системы в целом. Решение транспортных проблем значительной части российской территории связано с развитием «малой авиации», роль и характеристики которой должны существенно измениться. При малой плотности населения значительно возрастают (по сравнению с густонаселенными регионами) издержки на содержание аэропортов в расчете на одного жителя. Поэтому развитие авиатранспорта в малонаселенных регионах может требовать и прямой государственной поддержки, активной региональной и социальной политики. Т.е. эта проблема является комплексной и выходит за рамки экономики авиастроения и гражданской авиации. В работе [43] изложены некоторые методические подходы к анализу этой проблемы, разработанные совместно с И.В. Горшковой.

В исследованиях комплексных проблем транспорта (см., например, [7]) традиционно решается задача оптимального распределения функций между различными видами транспорта. Вполне возможно, что в будущем произойдет изменение роли и места гражданской авиации в транспортной системе, по сравнению со сложившимся положением дел. С точки зрения автора, вероятный сценарий таков.

В густонаселенных урбанизированных регионах нишу межрегиональных перевозок (даже на относительно большие, по нынешним меркам, дальности – до 1 000–2 000 км) займет скоростной наземный транспорт (прежде всего, железнодорожный), поскольку при наличии опоры можно существенно снизить потребную мощность и тягу двигателей, и, как следствие – удельный расход энергоносителей. Также исчезает необходимость землеотвода под аэропорты (однако теперь значительную площадь займут сами магистрали), радикально сокращаются потребности в подвозящем транспорте. Разумеется, высокая стоимость постоянных сооружений делает высокоскоростной наземный транспорт эффективным только при достаточной плотности населения.

Важно подчеркнуть, что, хотя во многих работах по экономике гражданской авиации (а также в данной главе), железнодорожный транспорт рассматривается как конкурент воздушному, более продуктивным является сотрудничество этих видов транспорта, позволяющее предоставить пассажирам комплексные транспортные услуги, обеспечивая высокую скорость и низкую себестоимость перевозок. Во многих развитых странах мира авиакомпании, аэропорты и создаваемые в последние годы высокоскоростные железнодорожные сети действуют как партнеры, на практике реализуя принцип единства транспортной системы, отраженный в названии книги [7]. Вопреки стереотипу, этот принцип, объективно обусловленный технико-экономическими особенностями транспорта, эффективно применяется именно в рыночной, а не только в плановой экономике.

В перевозках, сопряженных с пересечением больших акваторий, в т.ч. на межконтинентальных маршрутах, может быть целесообразным использование тяжелых высокоскоростных экранопланов. Экранный эффект, в терминах модели удельного расхода топлива, описанной в п. 2.1.3, позволяет существенно повысить аэродинамическое качество ЛА, и, следовательно, сократить потребную тягу двигателей при заданной массе ЛА и удельный расход топлива, подробнее см. [30]. Также появляются потенциальные возможности повысить весовое совершенство конструкции и т.п.

В регионах с малой плотностью населения, если маршрут может пролегать по акваториям внутренних водоемов или прибрежным зонам морей и океанов, экранопланы (уже легкого класса) могут найти применение в качестве подвозящего транспорта и транспорта местного сообщения, решая описанные выше специфические проблемы транспортного обслуживания малонаселенных регионов.

Можно заметить, что во всех перечисленных случаях предлагается максимально эффективно использовать возможности повышения энергетической эффективности и экологической безопасности скоростного транспорта, предоставляемые природными и географическими особенностями регионов. В рамках теории техноценозов [38, 101, 102], под которыми здесь подразумеваются транспортная система и система расселения,

можно сформулировать следующий общий принцип (возможно, применимый и в других отраслях). Эволюция техноценоза должна быть гармонизирована с развитием соответствующих геоценозов и биоценозов – только в этом случае технологическое развитие будет экологически безопасным и экономически эффективным. Очевидно, что не может быть оптимального вида транспорта, универсального для всех регионов и направлений. Попытки модификации геоценозов и биоценозов под нужды унифицированных технических систем неэффективны с энергетической и экономической точек зрения, а с экологической точки зрения, как правило, разрушительны.

В случае реализации описанного сценария, многие перевозки будут выполняться в смешанном сообщении. Например, вместо перелета с одного континента на другой, пассажиру придется доехать на скоростном поезде до океанского побережья, затем совершить пересадку на экраноплан, и т.д. Однако это может и не привести к существенному увеличению длительности поездки, по сравнению с перелетом на современном магистральном самолете. Во-первых, все авиаперевозки на пассажирских самолетах также совершаются в смешанном сообщении, поскольку требуется подвозящий транспорт. Причем, время поездки на нем может быть сравнимо со временем межконтинентального перелета, особенно если пункт назначения расположен вдали от крупного международного аэропорта. Во-вторых, даже сами перелеты в последние годы все чаще не являются прямыми и выполняются с пересадками в узловых аэропортах (*хабах*). Разумеется, достичь высокой скорости и удобства перевозок в смешанном сообщении можно лишь при надлежащей организации взаимодействия различных видов транспорта, процессов пересадки транзитных пассажиров и т.д. Необходимо создавать интегрированные мультимодальные транспортные системы, ориентированные на доставку пассажиров и грузов «от двери до двери» в кратчайшие сроки. Это проблема не только технологическая, но и организационная. В каждом конкретном случае необходимо соотносить возможную экономию энергии и средств благодаря оптимальному использованию географических особенностей с потерями энергии, средств, а также времени из-за мультимодального характера перевозок.

Какие ниши рынка скоростных перевозок остаются за традиционной авиацией в случае реализации описанного сценария? Это, во-первых, внутриконтинентальные перевозки на большие расстояния (что весьма актуально для России), и, во-вторых, межконтинентальные перевозки, требующие высокой скорости и выполняемые, по возможности, без промежуточных посадок и пересадки на другие виды магистрального транспорта. Потребность в обеспечении массовой доступности последней категории перевозок отсутствует, поэтому в этом секторе вероятно использование сверхзвуковых ЛА нового поколения – разумеется, при условии обеспечения приемлемого уровня экологических характеристик (прежде всего, интенсивности звукового удара). Что касается первой ниши рынка авиапере-

возок, в ней в обозримом будущем остается рассчитывать только на повышение экономичности пассажирских самолетов с помощью конструктивно-технологических решений, описанных в п. 2.1.3.

В свете описанного сценария, рынки транспортных экранопланов (как тяжелых межконтинентальных, так и легких, предназначенных для местного сообщения) могут быть для российского авиастроения одной из искомых перспективных рыночных ниш. Разумеется, создание транспортных экранопланов и освоение их массовой эксплуатации сопряжены со значительными техническими рисками. Ряд специалистов высказывает сомнения в технической достижимости значительного превосходства экранопланов над традиционными реактивными самолетами в топливной и экономической эффективности [107]. В то же время, именно в этой сфере отечественная промышленность обладала значительными конкурентными преимуществами перед зарубежной. Только в нашей стране были созданы и введены в эксплуатацию тяжелые высокоскоростные экранопланы, в т.ч. аппарат КМ, взлетная масса которого – свыше 500 т – превышала взлетную массу всех современных ему самолетов [107]. Даже ведущие авиационные державы мира ограничились лишь аппаратами массой порядка нескольких тонн.

Следует особо подчеркнуть, что отсутствие за рубежом сравнимых с отечественными разработок в сфере экранопланостроения ни в коем случае не свидетельствует о бесперспективности данного направления (хотя такие аргументы активно используются в средствах массовой информации [107] и оказывают влияние на процесс выработки стратегии развития отрасли). Как обосновано в п. 4.2.6, стратегия развития российского авиастроения (как и всей наукоемкой промышленности) должна формироваться на основе собственного видения перспектив отрасли, а не копирования чужой стратегии.

**Выводы по главе 5**

1. В нынешней социально-экономической ситуации многократное повышение доступности традиционных авиаперевозок в России и в мире в целом маловероятно. Соответственно, маловероятно существенное повышение емкости рынка гражданских самолетов.

2. На российском рынке дальних перевозок и на рынках ряда развивающихся стран мира может быть экономически целесообразным создание массового скоростного транспорта, занимающего промежуточное положение между самолетами и традиционными поездами по скорости и себестоимости перевозок. При низком уровне доходов большинства населения решающее значение могут иметь более низкие, чем на авиатранспорте, тарифы.

3. Полученные оценки показывают, что при появлении новых видов транспортных средств, обладающих существенно лучшей топливной экономичностью, по сравнению с современными реактивными самолетами, возможно повышение совокупного потребления топлива для дальних перевозок (эффект рикошета). В зависимости от эластичности предложения топлива, это может привести:

- при совершенно эластичном предложении – к бурному росту потребления топлива и выбросов $CO_2$ (что неприемлемо с экологической точки зрения и с точки зрения энергосбережения);
- при абсолютно неэластичном предложении – к значительному удорожанию авиатоплива, существенно ослабляющему ожидаемое повышение доступности перевозок;
- в промежуточных случаях – к сочетанию описанных неблагоприятных последствий.

4. Риск проявления эффекта рикошета снижается, если повышение доступности скоростного транспорта достигается, прежде всего, за счет снижения удельного расхода топлива, а не прочих (нетопливных) составляющих себестоимости перевозок. Именно к такому сочетанию технико-экономических характеристик целесообразно стремиться при проработке концепций перспективных видов общедоступного авиатранспорта. При выполнении указанных условий достигаются следующие позитивные результаты:

- возрастает доступность скоростных дальних перевозок;
- не возрастают объемы потребления авиатоплива, его цена и эмиссия вредных веществ;
- открывается новая емкая ниша рынка гражданской авиатехники;
- межотраслевое распределение доходов изменяется в пользу авиационной промышленности, а не топливно-энергетического комплекса.

5. Для обеспечения массовой доступности и экологической безопасности перспективного скоростного транспорта, целесообразно учитывать природные, географические, социально-экономические особенности регионов, и максимально использовать соответствующие благоприятные возможности снижения себестоимости перевозок, энергозатрат и экологической нагрузки на окружающую среду.

# ГЛАВА 6. ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ РЫНКОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В поисках новых рынков сбыта продукции, гражданское авиастроение не ограничивается лишь рынками транспортных (пассажирских и грузовых) летательных аппаратов. Весьма перспективными представляются и рынки беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА) гражданского назначения.

## 6.1. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в гражданской сфере

Современные беспилотные летательные аппараты условно можно разделить на несколько классов [193]:

- по взлетной массе – на *микро-* (весящие менее 5 кг), *мини-* (менее 200 кг), *миди-* (менее 1 000 кг) и *макси-БПЛА* (свыше 1 000 кг);
- по продолжительности полета – на аппараты с длительностью полета менее 1 часа, 3 часов, 6 часов, 12 часов, 24 часов и т. д.;
- по высоте полета – на летательные аппараты с практическим потолком до 1, 3, 9–12 км, а также свыше 20 км.

Также БПЛА могут различаться по способу старта:

- с руки;
- с направляющих;
- с ускорителями;
- с ВПП;
- с авианосца;
- воздушный старт;
- из-под воды,

и по способу управления:

- *автономные* БПЛА (управляемые по программе или интеллектуальной системой управления);
- *дистанционно пилотируемые* летательные аппараты (ДПЛА).

Каждый из этих классов сегодня представлен достаточно широкой гаммой образцов различных типов. Разумеется, приведенная классификация приблизительна и не претендует на полноту.

Ведущие авиационные державы мира и авиастроительные компании в настоящее время разрабатывают множество типов перспективных БПЛА. Так, в США еще в 2001 году расходы на НИОКР по БПЛА превысили 1,2 млрд долларов, [34]. Не остаются в стороне от этого процесса и российские предприятия [34, 193], и даже предприятия некоторых развивающихся стран мира, которые до сих пор не имели собственной авиационной промышленности. Но если разработка и производство мини- и (частично) ми-

ди-БПЛА доступны практически каждой стране, располагающей даже развивающейся авиационной промышленностью (в частности, многим европейским государствам, а также Индии, Пакистану, Ирану, Ираку, Малайзии), то наиболее технически сложные макси-БПЛА могут разрабатывать и выпускать только лидеры мирового авиастроения, успешно создающие и пилотируемые ЛА или страны, исторически обладающие в данной сфере ключевыми компетенциями (прежде всего, Израиль). В последние годы создание БПЛА стало одной из наиболее быстро развивающихся отраслей авиационно-космической промышленности во многих странах мира. 41 страна, в той или иной степени, ведет сейчас разработки подобных машин [34, 193]. В значительной степени это вызвано успешным использованием их в военной сфере (в т.ч. в ходе реальных боевых действий в разных регионах мира на протяжении нескольких десятилетий). Однако все больший интерес вызывают возможности применения БПЛА в гражданской сфере. Основной сферой применения БПЛА в мирных целях являются разнообразные виды *ПАНХ (применения авиации в народном хозяйстве)*, в т.ч. (см. [98, 99, 148, 179]):

- мониторинг больших территорий и акваторий, картография, аэрофотосъемка;
- охрана границ и береговых линий, экологический мониторинг газо- и нефтепроводов, лесов и водоемов;
- поисково-спасательные работы;
- авиахимические работы;
- поиск угнанных транспортных средств и нарушителей границы.

Перечень сфер применения БПЛА в народном хозяйстве следует формировать, задаваясь принципиальным вопросом: каким образом беспилотная авиация может повысить качество жизни населения? Этот перечень является открытым и, в силу определенных преимуществ беспилотной авиации перед пилотируемой (они описаны ниже), вероятно, будет шире, чем традиционный – и без того чрезвычайно обширный – спектр видов ПАНХ, сложившийся применительно к пилотируемым ЛА.

На основе обзора сфер применения БПЛА в гражданской сфере, можно предложить следующую типизацию задач, различающихся не только с технической, но и с экономической точки зрения (т.е., эффективность их выполнения характеризуется принципиально различными показателями):

1) *Патрулирование и мониторинг.* Здесь объем выполняемой работы может оцениваться длиной трассы или площадью территории, охваченной наблюдением за единицу времени (хотя, по мнению ряда специалистов [193], такие показатели принципиально неполны – например, если необходимо найти цель заданного типа в определенном районе за кратчайшее время).

2) *Барражирование.* В этой задаче объем работы можно измерить просто временем нахождения БПЛА над заданным районом – временем непрерывного пребывания, или суммарным временем в течение года. Та-

кой тип задач возникает, если БПЛА используется для ретрансляции сигналов, или для наблюдения над фиксированными объектами, что отличается от вышеупомянутой задачи патрулирования по экономической сути. Если в задаче патрулирования, при прочих равных, выгоднее использовать более скоростной ЛА, то здесь скорость не имеет значения, и вполне могут применяться, например, БПЛА аэростатного типа.

3) *Доставка и сброс грузов.* Эта задача характерна, прежде всего, для БПЛА сельхозназначения, предназначенных для выполнения авиахимработ. Объем работы может измеряться площадью территории, обработанной за единицу времени.

Разумеется, предложенная типизация задач, выполняемых БПЛА в гражданской сфере, может быть неполной и несовершенной. Тем не менее, она целесообразна для сравнения и оценки эффективности БПЛА, предназначенных для выполнения тех или иных задач.

Каковы же преимущества БПЛА перед традиционной пилотируемой авиатехникой? В сравнении с пилотируемыми ЛА, беспилотные обладают следующими преимуществами.

1) *Облегчение и упрощение конструкции ЛА, упрощение эксплуатации.* В силу отсутствия пилота на борту, отпадает необходимость в тяжелых и дорогостоящих системах жизнеобеспечения, аварийного спасения, в наличии самой пилотской кабины с индикацией и органами управления. При этом снижаются размеры и масса конструкции, снимаются ограничения на ее миниатюризацию. В итоге:

- достигается снижение трудоемкости производства и обслуживания ЛА;
- сокращается[1] расход авиатоплива;
- возможно – снижаются требования к условиям базирования, потребной наземной инфраструктуре, средствам наземного обслуживания и т.п.

2) *Расширение области допустимых условий эксплуатации.* Исчезают ограничения, обусловленные физиологическими возможностями пилота: на допустимые перегрузки (что более существенно в военной сфере), а также на продолжительность полета. Снимаются ограничения на полет в опасных районах (радиационное, химическое загрязнение), радикально снижается тяжесть потерь в случае катастрофы ЛА (хотя, разумеется, нельзя сбрасывать со счетов опасность для людей, находящихся на земле или на борту пилотируемых ЛА, находящихся в том же воздушном пространстве).

Однако основной недостаток БПЛА является продолжением его достоинств. В силу отсутствия пилота на борту, затруднены управление полетом, оценка полетной обстановки. Как отмечено в вышеприведенной клас-

[1] Или даже исключается - существуют примеры БПЛА-электролетов, в т.ч. работающих на солнечной энергии, например, экспериментальный аппарат Helios совместной разработки NASA и компании AeroVironment, установивший в 2003 г. рекорд высоты полета для ЛА без реактивного двигателя, подробнее см. [186].

сификации БПЛА, они могут быть вообще автономными, однако в этом случае, как показывает опыт эксплуатации, существенно возрастает риск потери ЛА в нештатной ситуации, поскольку реагировать на них даже новейшие системы искусственного интеллекта способны существенно менее оперативно и адекватно, чем пилот. Поэтому в большинстве классов БПЛА гораздо шире представлены дистанционно пилотируемые аппараты. Под термином «БПЛА» во многих источниках «по умолчанию» подразумеваются именно ДПЛА, хотя, строго говоря, это не синонимы.

С экономической точки зрения, вышеописанные отличия беспилотных ЛА от пилотируемых приводят к следующим эффектам.

1) Как правило, при прочих равных условиях (т.е. при сопоставимых значениях полезной нагрузки и составе бортового оборудования, и др.) БПЛА характеризуются меньшей себестоимостью разработки, производства и обслуживания.

2) Благодаря меньшим значениям расхода топлива, сокращаются соответствующие затраты.

3) Снижаются затраты на содержание или пользование наземной инфраструктурой.

4) Сокращаются (но не исчезают!) затраты на оплату труда пилотов, роль которых применительно к БПЛА выполняют операторы, находящиеся на земле. В силу пребывания операторов на земле, меньшего уровня риска и т.п., ставки оплаты труда могут быть ниже, чем у пилотов. Кроме того, при высокой степени автоматизации управления полетом, разгружающей оператора от рутинных операций, один оператор может управлять несколькими БПЛА одновременно. Наконец, эту статью затрат, как и в пилотируемой авиации, необходимо рассматривать в комплексе, учитывая также расходы на подготовку и переподготовку пилотов (операторов). Благодаря меньшим эксплуатационным затратам, и здесь беспилотная авиация обладает преимуществом перед традиционной.

Таким образом, во многих сегментах рынка ПАНХ внедрение БПЛА вместо пилотируемых ЛА обеспечит, как ожидается, многократное снижение практически всех статей эксплуатационных затрат. Также, как было отмечено выше, беспилотная авиация обладает рядом неэкономических преимуществ перед пилотируемыми ЛА. Чисто технические проблемы при разработке гражданских БПЛА для различных сегментов рынка ПАНХ представляются разрешимыми. Можно уверенно сказать, что общий уровень развития военных БПЛА на сегодняшний день достаточен и для решения всех задач, которые могут стоять перед гражданскими комплексами. Однако еще не урегулирован целый ряд проблем, стоящих на пути массового применения БПЛА в гражданской сфере. В частности, в большинстве стран пока не разрешены полеты БПЛА над населенными пунктами и важными объектами. Чтобы такая возможность появилась, очевидно, БПЛА должны удовлетворять определенным нормам безопасности (наподобие

норм летной годности для гражданских воздушных судов), проходить сертификацию, и т.п. И даже при условии обеспечения безопасности наземных объектов от падения БПЛА, остается ряд вопросов о правомерности сбора и использования определенной информации с помощью БПЛА. Тем не менее, все эти правовые проблемы разрешимы, и, как ожидает большинство экспертов [193], должны быть разрешены в течение нескольких ближайших лет. Далее предполагается, что препятствия на пути массового применения БПЛА в гражданской сфере сняты, и обсуждаются исключительно экономические проблемы освоения этого нового сегмента рынка авиатехники.

В качестве основного примера применения БПЛА в гражданской сфере рассматривается патрулирование трасс трубопроводов [98]. Это направление использования беспилотных комплексов чрезвычайно актуально для нашей страны, располагающей крупнейшей в мире сетью магистральных газо- и нефтепроводов. Общая протяженность трасс магистральных газопроводов на территории России составляет порядка 150 000 км, причем, значительная их часть проложена в сложных природно-климатических условиях. Сами трубопроводы находятся в различной, в т.ч., и значительной степени изношенности (подробнее см. [179]). С одной стороны, активная хозяйственная деятельность в районах расположения трасс может представлять угрозу для работы трубопроводного транспорта.

С другой стороны, утечки и аварии на трубопроводах наносят ущерб окружающей среде и могут представлять собой опасность для жизни и здоровья населения. Эти соображения чрезвычайно актуальны не только для российского трубопроводного транспорта, но и для зарубежного. Так, утечки нефти на Аляске, происшедшие в марте 2006 г. вследствие коррозии нефтепровода, привели к существенному загрязнению окружающей среды в природоохранной зоне, и, как следствие – к значительным экологическим штрафам, выплаченным нефтедобывающими компаниями, а также к приостановке эксплуатации крупнейших месторождений. В современных условиях возникают новые виды рисков, – например, риск несанкционированного отбора продукта или умышленного повреждения трубопровода. Компании-операторы трубопроводов, как в России, так и за рубежом, заинтересованы в комплексном решении задач патрулирования трасс в интересах экологического мониторинга, контроля технического состояния и обеспечения безопасности объектов. С этой целью компаниями-операторами трубопроводного транспорта создаются специализированные подразделения, осуществляющие патрулирование трасс трубопроводов (в настоящее время – с помощью пилотируемых вертолетов или самолетов), проводятся прикладные исследования, [179]. О значительном интересе к применению БПЛА в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) свидетельствует тот факт, что в начале 2007 г. в Москве прошла первая специализированная выставка “Беспилотные многоцелевые комплексы в интере-

сах ТЭК", ставшая впоследствии регулярной [193]. Топливно-энергетический комплекс рассматривается авиастроительными предприятиями в качестве важнейшего потенциального заказчика БПЛА, не в последнюю очередь, в силу высокой платежеспособности этого ведущего сектора отечественной экономики. Как заинтересованная сторона, ТЭК участвует в финансировании НИОКР по созданию БПЛА гражданского назначения [98]. Предъявляя спрос на новые виды летательных аппаратов, новые средства мониторинга, информационно-управляющие системы, и т.д., российский ТЭК, с одной стороны, повышает экономическую эффективность и безопасность своего функционирования, а с другой стороны – в определенной мере способствует развитию наукоемких отраслей и диверсификации российской экономики.

## 6.2. Анализ экономической эффективности и прогнозирование спроса на беспилотные летательные аппараты

Предприятия, в т.ч., располагающие значительным научно-техническим потенциалом и опытом производства БПЛА военного назначения, нередко приступают к освоению гражданского сектора этого рынка без должной маркетинговой подготовки. Отсутствуют даже примерные прогнозы спроса и предполагаемых цен будущих изделий. Разработчики лишь приблизительно представляют себе потенциальных заказчиков и факторы, определяющие их спрос на БПЛА, эффективность применения и конкурентоспособность БПЛА гражданского назначения. Несмотря на то, что сами по себе беспилотные летательные аппараты, как правило, проще и дешевле пилотируемых, их создание требует значительных инвестиций и должно сопровождаться научно обоснованным прогнозированием спроса. Зарубежные прогнозы суммарной емкости рынков БПЛА, на которые ссылается ряд отечественных авторов (см., например, [34]), обладают следующими недостатками. Во-первых, публикации не содержат методического обоснования прогнозов, либо, авторы открыто признают, что прогнозы основаны не на модельных расчетах, а на экспертных оценках. В итоге, прогнозы разных авторов различаются даже по порядку величины. Во-вторых, прогнозы совокупного спроса принципиально не способны дать ответ на вопрос о доле рынка БПЛА, которую могли бы занять те или иные, в т.ч., российские производители.

Рынки БПЛА гражданского назначения и выполняемых с их помощью работ являются относительно новыми и бурно развиваются в последние годы. Поэтому к ним неприложимы многие рекомендации, выработанные эмпирическим путем для рынков авиаперевозок и традиционной продукции авиационной промышленности – например, транспортных самолетов. Наиболее часто для прогнозирования конъюнктуры стабильных рынков применяются эконометрические методы. Однако такой подход, опираю-

щийся на исторические данные о динамике цен и объемов продаж, ограниченно применим к рынкам, подверженным качественным преобразованиям, а тем более – к новым рынкам, которые находятся в стадии формирования. В этих случаях более обоснован иной подход [77] – непосредственное моделирование поведения потенциальных потребителей и продавцов.

Одно из важнейших направлений применения БПЛА в гражданской сфере – патрулирование территорий, акваторий, магистралей и границ. Совместно с А.К. Никитовой была разработана следующая упрощенная модель [89]. Потенциальному заказчику требуется патрулировать трассу (магистраль, границу и т.п.) длиной $L$, на которой со средней интенсивностью $\omega$, $(\text{г}\cdot\text{км})^{-1}$, могут возникать аварийные ситуации (утечки из трубопроводов, обрывы линии электропередач и т.п.), приносящие вплоть до устранения ущерб в размере $z$, денежных единиц в расчете на одну аварию в час. Ущерб от аварийной ситуации включает в себя:

- прямые потери (например, стоимость продукта, вытекшего из трубопровода);
- возможные штрафы и затраты на устранение последствий (например, на сбор разлившейся нефти и экологическую рекультивацию пострадавших территорий);
- неустойки и репутационный ущерб в результате прекращения перекачки продукта по трубопроводу, подачи электроэнергии, и т.п.

Обозначив средние длительности обнаружения аварийной ситуации в ходе патрулирования и последующего устранения аварии, соответственно, $\overline{t}_{\text{обн}}$ и $\overline{t}_{\text{устр}}$, оценим ожидаемую сумму потерь заказчика из-за аварийных ситуаций в течение года:

$$D = L \cdot \omega \cdot z \cdot \left( \overline{t}_{\text{обн}} + \overline{t}_{\text{устр}} \right). \qquad (6.1)$$

Следует подчеркнуть, что патрулирование трассы лишь обеспечивает оперативное обнаружение аварийных ситуаций и их локализацию. Но использовать получаемую при этом актуальную информацию должны аварийно-восстановительные службы, эффективность работы которых в данной модели выражается показателем $\overline{t}_{\text{устр}}$. Поэтому, как следует из полученного выражения, даже при мгновенном обнаружении аварий средствами патрулирования (т.е., при $\overline{t}_{\text{обн}} \to 0$) ожидаемый ущерб от аварий не стремится к нулю. Можно считать, что средняя продолжительность устранения аварии $\overline{t}_{\text{устр}}$ не зависит от средств патрулирования[1]. Среднее время обнаружения аварии $\overline{t}_{\text{обн}}$, напротив, практически полностью определяется системой патрулирования. Если данную трассу обслуживает парк летательных аппаратов численностью $n$, среднегодовой налет одного изделия

[1] За исключением случая, когда патрульный ЛА несет на борту аварийную бригаду, которая, таким образом, уже находится на месте аварии и может приступить к ее ликвидации вскоре после обнаружения. Как правило, таким требованиям удовлетворяет вертолет, причем, разумеется, пилотируемый.

равен $\eta$ [1], л.ч./г, а средняя скорость полета в режиме патрулирования равна $v$, км/ч, тогда годовой объем патрульных полетов составит $x = n \cdot \eta$ летных часов, и за год парк пройдет расстояние, равное $x \cdot v$, т.е. совершит $\frac{x \cdot v}{L}$ облетов трассы. Соответственно, средняя периодичность пролета ЛА над заданным участком трассы составит $t_{\text{пролет}} = \left( 365 \cdot 24 \cdot \frac{L}{x \cdot v} \right)$ ч. Если считать, что аварийные ситуации и пролет патрульных ЛА независимы друг от друга, время обнаружения аварии распределено равномерно от 0 до $t_{\text{пролет}}$, и среднее время обнаружения аварии составит половину периодичности пролета БПЛА над одним и тем же участком трассы:

$$\overline{t}_{\text{обн}} = \frac{t_{\text{пролет}}}{2} = 365 \cdot 12 \cdot \frac{L}{x \cdot v} \text{ ч.} \qquad (6.2)$$

Здесь предполагается, что при пролете патрульного ЛА над местом аварии она будет обнаружена со 100 %-й вероятностью. В реальности вероятность локализации аварии в одном пролете $p_{\text{обн}}$ меньше 100 % и определяется целым рядом факторов – погодными условиями, составом и чувствительностью аппаратуры, установленной на борту, режимом полета и т.п. Чем чувствительнее аппаратура, чем обширнее ее состав (например, оптические приборы, работающие в различных диапазонах, газоанализаторы и т.д.), тем выше вероятность обнаружения, но тем больше стоимость и масса аппаратуры, а также потребная полезная нагрузка БПЛА. Можно показать, что ожидаемое количество пролетов, необходимых для обнаружения аварии, равно $\frac{1}{p_{\text{обн}}}$. Соответственно, среднее время обнаружения аварии с учетом данного фактора составит $\overline{t}_{\text{обн}} = 365 \cdot 12 \cdot \frac{L}{x \cdot v \cdot p_{\text{обн}}}$ ч. Что касается режима полета, то, как правило, аварии обнаруживаются с большей вероятностью при меньшей скорости полета (что входит в противоречие с соображениями повышения производительности патрульных средств) и при полете на малой высоте (что требует усложнения системы управления БПЛА и усиления его конструкции для обеспечения полета в режиме огибания местности, а также увеличивает риск потери или повреждения ЛА при столкновении с землей). В реальности необходимо учитывать все указанные факторы, решая задачу совместной оптимизации интенсивности патрульных полетов, состава бортового оборудования и режима полета

[1] Поскольку наиболее эффективной является максимально интенсивная эксплуатация парка ЛА, $\eta$ – наибольшее значение налета, достижимое при данной системе технического обслуживания и ремонта изделий, длительности периодического технического обслуживания, и т.п.

БПЛА. Однако в данной работе для упрощения будем считать, что аварии обнаруживаются и локализуются в первом же пролете, т.е. $p_{\text{обн}} \equiv 1$.

Таким образом, ожидаемая сумма потерь из-за аварийных ситуаций может быть выражена следующей формулой:

$$D = L \cdot \omega \cdot z \cdot \left( 365 \cdot 12 \cdot \frac{L}{x \cdot v} + \overline{t}_{\text{устр}} \right) =$$

$$= 365 \cdot 12 \cdot \frac{L^2 \cdot \omega \cdot z}{x \cdot v} + L \cdot \omega \cdot z \cdot \overline{t}_{\text{устр}} = \frac{a}{x \cdot v} + b, \qquad (6.3)$$

где $a = 365 \cdot 12 \cdot L^2 \cdot \omega \cdot z$,

$b = L \cdot \omega \cdot z \cdot \overline{t}_{\text{устр}}$.

Подчеркнем, что $a$ и $b$ – постоянные величины, определяемые объектом патрулирования данного заказчика, и не зависящие от системы патрулирования.

Из полученного выражения видно, что ожидаемые потери тем ниже, чем выше интенсивность патрульных полетов. В то же время, повышение интенсивности патрулирования требует дополнительных затрат. Ожидаемые годовые затраты на организацию патрулирования можно упрощенно представить следующим образом:

$$C = FC + c \cdot x, \qquad (6.4)$$

где $FC$ – годовые постоянные затраты на организацию патрулирования (в т.ч. на создание и поддержание необходимой наземной инфраструктуры);

$c$ – средняя стоимость летного часа БПЛА данного типа, которую, в свою очередь, можно упрощенно представить следующим образом:

$$c = \frac{p}{T} + m + p_{\text{ГСМ}} \cdot g + r, \qquad (6.5)$$

где $p$ – цена нового БПЛА данного типа;

$T$ – ресурс БПЛА данного типа в летных часах;

$m$ (от англ. maintenance) – средняя стоимость технического обслуживания и ремонта БПЛА данного типа, в расчете на летный час;

$p_{\text{ГСМ}}$ – цена авиатоплива, за кг (с учетом доставки к месту базирования БПЛА, хранения, заправки, и т.п.);

$g$ – средний часовой расход топлива БПЛА данного типа, кг на летный час;

$r$ – средняя часовая ставка оплаты труда операторов наземных командных пунктов, которые контролируют движение БПЛА и осуществляют мониторинг информации, принимаемой с борта БПЛА в режиме патрулирования.

Стоимость поддержания наземной инфраструктуры упрощенно может быть представлена как произведение годовых затрат на содержание одного наземного пункта (включающего в себя аэродром, пусковую площадку или установку, пункт управления, мастерские и склад ГСМ, и т.п.) и

числа наземных пунктов на трассе. Последняя величина может быть оценена как отношение длины трассы на средний интервал между наземными пунктами. Интервалы между НП определяются, помимо особенностей патрулируемого объекта, также техническими характеристиками БПЛА – прежде всего, радиусом действия. Для ДПЛА он ограничен не только запасом топлива на борту, но и возможностями дистанционного управления движением ЛА по радиоканалу. Итак,

$$FC = c_{\text{НП}} \cdot \frac{L}{l}, \tag{6.6}$$

где $c_{\text{НП}}$ – годовые затраты на содержание одного НП;

$l$ – средний интервал между НП на трассе.

Таким образом, учитываются следующие статьи затрат: амортизация парка БПЛА, затраты на ТОиР, на авиатопливо, на оплату труда операторов и содержание наземной инфраструктуры. Разумеется, это чрезвычайно упрощенная модель. На данный момент не существует общепринятой методики прогнозирования эксплуатационных затрат БПЛА. Более того, в силу многообразия сфер применения беспилотной техники [98, 99, 148, 193], такую универсальную методику, вероятно, не удастся построить в принципе. Тем не менее, перечисленные выше статьи затрат, вероятно, будут присутствовать в любом случае, хотя структура затрат может существенно отличаться в разных отраслях.

Выполнение задач патрулирования имеет, с экономической точки зрения, важную характерную особенность. С одной стороны, чем чаще осуществляется облет, тем выше затраты на организацию патрулирования. С другой стороны, повышение интенсивности патрулирования позволяет чаще обновлять информацию о состоянии патрулируемых объектов, что позволяет (при надлежащем реагировании) быстрее устранять аварии, нарушения, и т.п., и, как следствие – сокращать ожидаемый ущерб от этих нештатных ситуаций. Таким образом, в качестве целевой функции компании-потребителя патрульных услуг (при этом неважно, закупает ли она эти услуги на стороне, или сама эксплуатирует парк патрульных средств) целесообразно принять сумму затрат на патрулирование и ожидаемых потерь из-за аварийных ситуаций. Управляющей переменной является годовой объем патрульных полетов:

$$TC = C + D = FC + c \cdot x + \frac{a}{x \cdot v} + b \to \min_{x}.$$

Оптимальный годовой объем патрульных полетов можно найти из условия $\frac{\partial TC}{\partial x} = 0$:

$$x_{opt} = \sqrt{\frac{a}{v \cdot c}}. \tag{6.7}$$

При заданной величине среднегодового налета на один БПЛА, последняя величина однозначно определяет оптимальную численность патрульных аппаратов, необходимых для патрулирования данного объекта:

$$n_{opt} = \frac{x_{opt}}{\eta} = \frac{1}{\eta}\sqrt{\frac{a}{v \cdot c}} = \frac{L}{\eta}\sqrt{\frac{365 \cdot 24 \cdot z \cdot \omega}{c \cdot v}} \qquad (6.8)$$

(разумеется, результат округляется до ближайшего целого числа). Заметим, что оптимальное число БПЛА, как и следовало ожидать, прямо пропорционально длине трассы патрулируемой магистрали.

Предлагаемый здесь подход может оказаться плодотворным для приближенного прогнозирования спроса на патрульные работы и средства их выполнения во многих отраслях – например, при патрулировании границ, лесов и акваторий. Этот подход применим не только к воздушному патрулированию, но и к морскому, наземному, и т.п. Разумеется, организация процесса патрулирования в реальности требует более детального учета неоднородности обслуживаемой трассы, оптимизации маршрутов облета, расположения объектов наземной инфраструктуры, и т.п. Кроме того, все составляющие предлагаемой комплексной модели – модель затрат на патрулирование и модель ущерба от необнаруженных вовремя аварий – содержат целый ряд существенных упрощений, которые при необходимости могут быть сняты.

1) Локализация места аварии при пролете БПЛА над ним может достигаться с определенной вероятностью, меньшей 100 %, что потребует повторных пролетов. Выше обсуждался способ учета этого фактора в модели.

2) Ущерб может зависеть от времени локализации аварий нелинейным образом. Например, *площадь, пройденная огнем* [99] во время лесного пожара возрастает, скорее, пропорционально квадрату времени, прошедшего с момента возгорания, поскольку она равна, в простейшем случае, площади круга, радиус которого увеличивается линейно. Другой пример: ущерб от нарушения границы вообще принимает фиксированное значение с момента пересечения нарушителем границы, и далее не зависит от времени. В подобных случаях необходимо строить специфические модели ущерба, отличающиеся от формулы (6.3).

3) Помимо БПЛА, выполняющих полеты, необходимо некоторое количество запасных изделий, заменяющих изделия, находящиеся в длительном ремонте, и т.п.

Однако основная цель представленной упрощенной модели – оценить по порядку величины спрос потенциальных заказчиков на патрульные работы, а также на БПЛА, предназначенные для их выполнения.

Среднегодовой спрос на БПЛА можно оценить по следующей формуле:

$$q = \frac{\eta}{T} \cdot n_{opt} = \frac{x_{opt}}{T} = \frac{1}{T}\sqrt{\frac{a}{v \cdot c}} = \frac{L}{T}\sqrt{\frac{365 \cdot 24 \cdot z \cdot \omega}{c \cdot v}}, \qquad (6.9)$$

поскольку ежегодно будет вырабатывать свой ресурс и требовать замены на новые аппараты доля парка, в среднем, равная $\frac{\eta}{T}$[1]. Разумеется, эта оценка справедлива лишь в стационарном режиме функционирования парка БПЛА, когда его потребная численность не изменяется в течение длительного периода времени. В первом приближении, так можно считать, поскольку объем патрульных работ на конкретном объекте не имеет ярко выраженной тенденции к увеличению со временем, в отличие от объема транспортных перевозок.

Построим функцию оптимального спроса на патрульные БПЛА, т.е. зависимость оптимального объема закупок от цены. Для этого в формулу (6.9) необходимо в явном виде включить зависимость стоимости летного часа от цены $c(p)$, определяемую формулой (6.5):

$$q = \frac{1}{T}\sqrt{\frac{a}{v \cdot c}} = \frac{1}{T}\sqrt{\frac{a}{v\left(\frac{p}{T} + m + p_{\text{ГСМ}} \cdot g + r\right)}}. \qquad (6.10)$$

Однако полученная формула справедлива не при любых значениях цены. Необходимо учитывать, что патрулирование может быть организовано с помощью различных средств (БПЛА различных типов, вертолетов и других пилотируемых ЛА, наземных транспортных средств или даже стационарных средств контроля, и т.п.), и рационально действующий заказчик выберет наиболее эффективную для него альтернативу. Следовательно, оценка спроса на БПЛА должна проводиться одновременно с анализом экономической эффективности всех альтернатив. Поскольку целевой функцией считается сумма ожидаемых затрат на патрулирование и потерь из-за аварий $TC$, критерием выбора целесообразно считать минимальное значение этой величины, достигаемое с применением данного вида средств патрулирования при оптимальном объеме патрульных полетов:

$$TC^{\min} = TC\left(x_{opt}\right) = FC + b + 2\sqrt{a \cdot \frac{c}{v}}. \qquad (6.11)$$

Оценки по данной формуле необходимо провести для всех возможных средств патрулирования. Наличие альтернативных средств патрулирования обусловливает следующий вид функции спроса на БПЛА, характерный для товаров-заменителей. С ростом цены изделий спрос на них сначала убывает постепенно, согласно формуле (6.10), а при достижении некоторого порога, свыше которого БПЛА данного типа перестают быть наилучшим средством патрулирования, спрос резко падает до нуля. При этом вплоть до запретительной цены спрос остается неэластичным, т.е. при повышении цены на 1 %, спрос на БПЛА упадет менее, чем на 1 % (как видно

[1] Как уже говорилось в главе 2, такой средней оценкой доли списания можно пользоваться только при равномерном распределении парка по остатку ресурса.

из формулы (6.10)). В этих условиях производителю-монополисту выгодно повышать цены, теоретически, вплоть до запретительных значений.

Итак, рационально действующий заказчик выберет тот продукт, который обладает для него наибольшей экономической эффективностью, и будет приобретать его в наиболее эффективных объемах. Таким образом, прогнозирование спроса на беспилотные летательные аппараты и патрульные работы требует корректной оценки их экономической эффективности. В современных условиях корректнее говорить не об эффективности изделий как таковых, а об эффективности целостной системы, включающей в себя парк летательных аппаратов, принадлежащий определенной эксплуатирующей организации, и сервисную инфраструктуру. Более того, в состав упомянутой системы следует включить и объект, в интересах которого применяются БПЛА. Таким образом, анализ экономической эффективности БПЛА, предназначенных для воздушного патрулирования, необходимо проводить в рамках системы "парк БПЛА – наземная инфраструктура – патрулируемый облъект".

Рассмотрим следующий иллюстративный пример. Длину патрулируемой трассы примем равной 150 000 км, что по порядку величины соответствует протяженности магистральных газопроводов в России. Среднюю частоту возникновения утечек примем равной 0,004 события на км в год, а средний расход продукта через утечку – 40 000 м$^3$ в час. Пусть утечка 1 000 м$^3$ газа приносит суммарный ущерб в размере 100 долларов[1], а средняя длительность устранения аварии составляет 12 часов. Тогда, в рамках предложенной модели, $a \approx 3{,}15 \cdot 10^{15}$ и $b = 28\,800\,000$. Стоимость летного часа вертолета Ми-8, наиболее распространенного в России, примем равной 1 000 долларов (такое предположение справедливо по порядку величины, см., например, [179]). Предположим, что компания-оператор трубопровода арендует вертолеты по указанной ставке за летный час, а все возможные расходы, связанные с выполнением патрульных работ (в т.ч., на содержание потребной наземной инфраструктуры), берет на себя организация, эксплуатирующая вертолеты. Таким образом, все затраты на патрулирование выражаются для оператора трубопровода через часовую ставку оплаты. Пусть скорость полета в режиме патрулирования составляет 100 км/ч. Тогда, согласно формуле (6.7), оптимальный годовой объем патрульных полетов составляет около 180 000 летных часов в год. Минимально достижимое при этом значение целевой функции составит при этом около 385 млн долл. в год (по формуле (6.11)).

---

[1] В данном примере интенсивность утечки соответствует полному разрыву магистрального газопровода, а удельная оценка ущерба за 1 000 м$^3$ соответствует, по порядку величины, цене продукта. Разумеется, в реальности не каждая авария приводит к полному разрыву трубопровода. Однако до локализации и устранения крупных утечек подача продукта, как правило, прекращается, что влечет за собой убытки и неустойки из-за недопоставки продукта. Поэтому порядок стоимостной оценки ущерба в данном примере можно считать вполне реалистичным.

Ожидается, что за счет отсутствия на борту экипажа и систем его жизнеобеспечения, значительно меньших размеров и потребной мощности силовой установки, и т.п., БПЛА могут обеспечить, при сравнимой скорости полета, существенно меньшие стоимости летного часа, по сравнению с вертолетами. Это позволяет не только снизить затраты на патрулирование, но также несколько увеличить оптимальную интенсивность патрульных полетов, и, как следствие – сократить ожидаемый ущерб от аварий. Пусть, например, БПЛА подходящего класса, также выполняющий патрульные полеты на крейсерской скорости 100 км/ч, может обеспечивать стоимость летного часа на уровне 160 долларов, а содержание наземной инфраструктуры вдоль трассы длиной 150 000 км обходится в 9 млн долл. в год. Тогда, согласно формуле (6.7), оптимальный годовой объем патрульных полетов увеличится приблизительно до 445 000 летных часов в год.

На рис. 6.1 изображены полученные в данном примере зависимости различных составляющих затрат и потерь от интенсивности полетов при патрулировании трассы с помощью вертолетов и БПЛА.

На графике обозначены оптимальные объемы патрульных полетов, а также достигаемые при этом минимальные значения целевой функции. При замене вертолетов на БПЛА минимальное значение целевой функции сократится приблизительно до 180 млн долл. в год, т.е. более чем вдвое. Если бы интенсивность патрулирования при замене вертолетов не увеличивалась, экономическая эффективность внедрения БПЛА определялась бы лишь удешевлением патрулирования (как и предполагается в немногочисленных работах, посвященных прогнозированию экономической эффективности БПЛА, [34]), и годовой эффект составил бы менее 140 млн долл. в год, т.е. значение целевой функции сократилось бы не на 53 %, а лишь на 37 %. Но рациональное использование новых возможностей, предоставляемых БПЛА, позволяет экономить более 200 млн долл. в год, поскольку сокращается также ожидаемый ущерб от аварий. Здесь предполагается, что объем патрульных работ, выполняемых в настоящее время с применением вертолетов, уже оптимизирован. В противном случае экономия от рационального внедрения БПЛА может оказаться еще более существенной.

Разумеется, для корректной оценки экономической эффективности замены вертолетов на БПЛА необходимо учитывать и временн**о**й фактор, поскольку закупка БПЛА с необходимыми характеристиками, создание наземной инфраструктуры, и т.п., требуют значительных начальных вложений, а ожидаемая экономия проявится на протяжении ряда последующих лет. Таким образом, замену вертолетов на БПЛА в сфере патрулирования трубопроводов следует рассматривать как протяженный инвестиционный проект [31], дисконтируя денежные потоки, вычисленные по предложенным выше формулам.

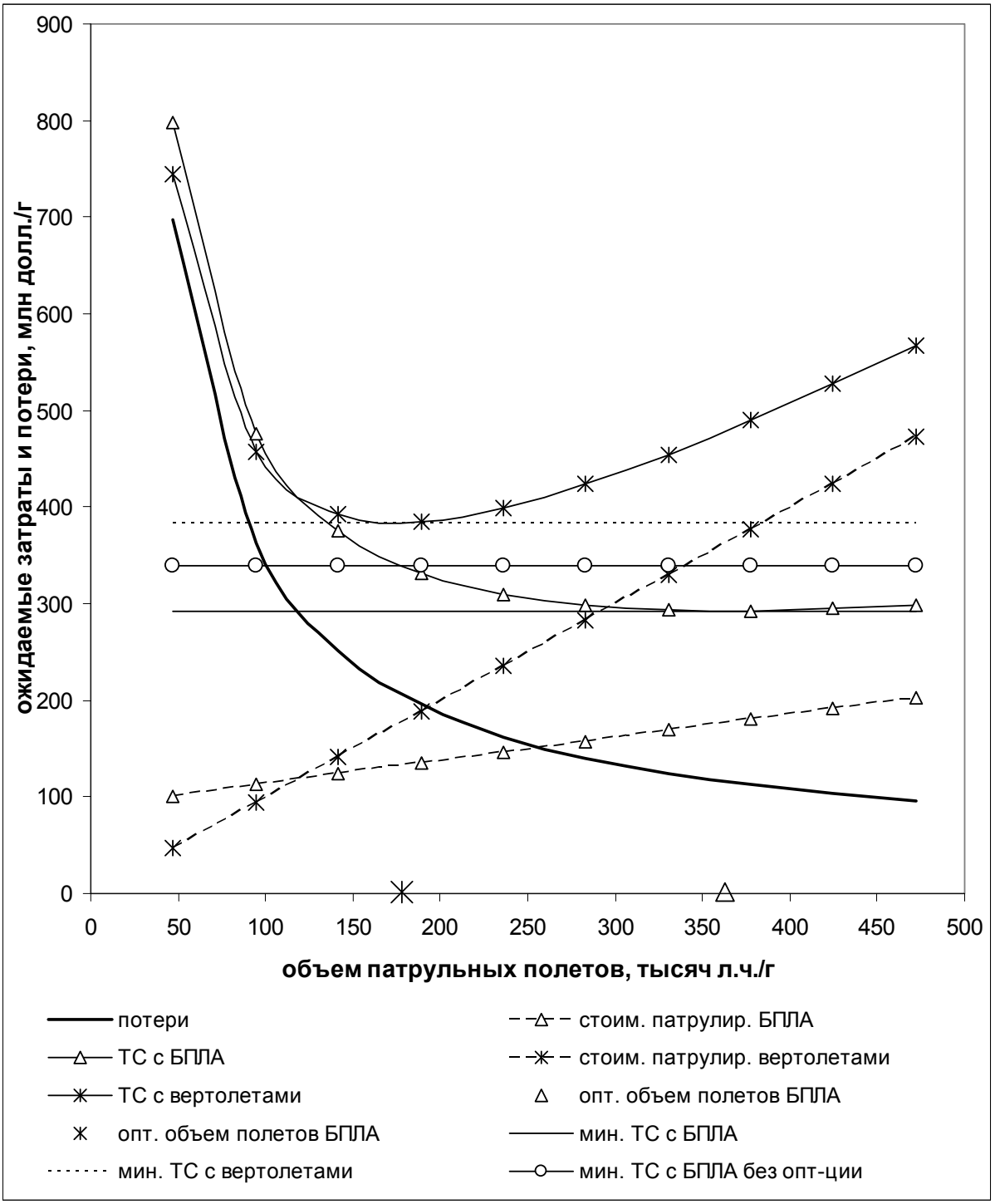


Рис. 6.1. Ожидаемые затраты и потери в зависимости от объема патрульных работ

Оценка по формуле (6.8) показывает, что оптимальная численность парка БПЛА для патрулирования данной трассы составит около 450 экземпляров, что, при назначенном ресурсе 2 000 летных часов и среднегодовом налете 1 000 летных часов в год требует покупки, в среднем, 225 изделий в год (см. формулу (6.9)). Необходимо отметить важную методологическую особенность прогнозирования спроса на БПЛА и патрульные работы. Многие технические и стоимостные параметры БПЛА, использованные в

предлагаемой модели, на практике нередко неизвестны достоверно на этапе маркетинговых исследований. Так, например, трудно предсказать, каким будет ресурс и среднегодовой налет БПЛА, выполняющего патрулирование магистральных трубопроводов в условиях крайнего Севера. При этом значительный опыт эксплуатации БПЛА военного назначения, накопленный многими странами мира [193], принципиально неприменим в силу различной специфики задач патрулирования народнохозяйственных объектов и разведки в боевых условиях, когда БПЛА становятся, по существу, одноразовыми. Еще больше неопределенность цены перспективных изделий, способных выполнять весьма специфические задачи патрулирования трубопроводов (например, предполагается всепогодное и круглосуточное использование, полет на малой высоте в режиме огибания рельефа местности, и т.п.). Значительная неопределенность исходных данных требует проведения параметрических расчетов, подобных приведенному выше, в широком диапазоне модельных параметров. Предложенная выше экономико-математическая модель может служить простым и эффективным маркетинговым инструментом, который позволит разработчикам и потенциальным заказчикам БПЛА прогнозировать эффективность их применения, оценить и согласовать приблизительные объемы их выпуска, взаимоприемлемые характеристики и цены.

### 6.3. Методы оптимизации модельного ряда перспективных беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения

Одной из важнейших задач при формировании продуктовой стратегии авиастроительных предприятий является рациональное определение типоразмерного ряда (типажа) перспективных изделий. Наивысшая эффективность и конкурентоспособность продукции в каждом сегменте рынка авиатехники может быть достигнута, если конкретная модель предназначена именно для данного сегмента, т.е., при специализации изделий. С другой стороны, стремление производителя сократить себестоимость продукции и увеличить объемы ее реализации способствует унификации летательных аппаратов, предназначенных для различных сегментов рынка [129]. Стремление удовлетворить этим противоречивым требованиям приводит к проблеме формирования оптимального типоразмерного ряда перспективных ЛА. Решению этой задачи применительно к пассажирским и грузовым самолетам посвящены работы ряда отечественных ученых, например, [9]. За десятилетия развития гражданской авиации в России и в мире накоплен огромный объем эмпирических денных об эффективности эксплуатации пассажирских и грузовых ЛА того или иного типоразмера на авиалиниях различной дальности и с различным пассажиропотоком (грузопотоком). Поэтому на рынках транспортных самолетов уже сложилась приемлемая как для производителей, так и для авиакомпаний структура

модельного ряда, причем, ее формирование происходило не только под влиянием научных рекомендаций, но и путем обобщения реального опыта. Поскольку решение об унификации приходится принимать на самых ранних стадиях жизненного цикла продукции – на этапе сегментации рынка и выбора целевой группы потребителей, в относительно новой рыночной нише, какой является рынок беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения, оценка экономической эффективности того или иного решения не может опираться на эмпирические данные. Поэтому возникает задача прогнозирования, а не апостериорной оценки экономической эффективности унификации или специализации БПЛА, причем, применимость эконометрических методов ограничена. Остается наиболее сложный путь – экономико-математическое моделирование. Комплекс методов оптимизации модельного ряда перспективных БПЛА был разработан при участии М.А. Никитиной и А.К. Никитовой [90, 108].

БПЛА, предназначенные для патрулирования различных объектов, обладают существенной спецификой и отличаются по многим параметрам. Так, обнаружение утечек на газопроводах требует облета последних на предельно малых высотах, поскольку обнаружение происходит, в основном, с помощью газоанализаторов. Локализация неисправности трубопровода и уточнение ее характера могут потребовать приблизиться к вероятному месту неисправности и зависнуть вблизи него, что подразумевает применение БПЛА вертолетного, а не самолетного типа. В лесопожарном патрулировании или патрулировании автомагистралей к режимам полета предъявляются иные требования. Поэтому, прежде всего, возможна унификация ЛА, предназначенных для выполнения однородных задач. Они могут различаться радиусом действия, скоростью полета, взлетно-посадочными характеристиками и т.д. Однако в данной работе в качестве основного показателя, определяющего различия унифицируемых типов ЛА, выбрана величина полезной нагрузки. Б**о**льшая величина допустимой полезной нагрузки позволяет установить на БПЛА более тяжелую, но и более чувствительную аппаратуру, расширить спектр диапазонов, в которых ведется наблюдение (например, кроме видимого диапазона, вести наблюдение в инфракрасном, и т.п.). Таким образом, унификация означает выбор наибольшей полезной нагрузки для нескольких сегментов рынка.

Обозначим потенциальных заказчиков (или группы однородных заказчиков) индексами $i = 1,..n$. $i$-му заказчику необходимо, чтобы БПЛА мог нести полезную нагрузку, равную, по меньшей мере, $G^i$. Предположим, что потенциальные заказчики (сегменты рынка) упорядочены по возрастанию потребного значения полезной нагрузки: $G^1 < G^2 < ... < G^n$.

Предлагается следующий способ формализации состава модельного ряда. Введем индикатор $\delta^i$, который принимает значение 1, если для $i$-го сегмента рынка предлагается специализированный тип БПЛА, рассчитанный на полезную нагрузку $G^i$, и 0, если такой тип БПЛА не предлагается.

В последнем случае $i$-й заказчик может приобретать изделия более тяжелого класса.

Обозначим типы изделий в модельном ряду (т.е., модели БПЛА) индексами $j = 1,..m$, а максимально допустимую величину полезной нагрузки БПЛА $j$-го типа – $G_j$. Предположим, что типы БПЛА также упорядочены по возрастанию допустимой полезной нагрузки: $G_1 < G_2 < ... < G_m$. $i$-й заказчик может использовать БПЛА $j$-го типа, если $G^i \le G_j$. Если же $G^i > G_j$, $i$-й заказчик не может эксплуатировать БПЛА $j$-го типа.

Помимо различных типов БПЛА, предлагаемых данным производителем, в качестве альтернатив заказчик может рассматривать БПЛА конкурирующих производителей, а также иные средства патрулирования (в т.ч. пилотируемые или вообще неавиационные). Рационально действующий заказчик выберет наиболее выгодную для себя альтернативу. Показателем экономической эффективности того или иного средства патрулирования для данного заказчика служит минимум его целевой функции, получаемый при оптимизации объема патрульных полетов данного средства патрулирования (см. формулу (6.11)):

$$TC^{\min} = TC\left(x_{opt}\right) = FC + b + 2\sqrt{a \cdot \frac{c}{v}}.$$

Таким образом, в рамках модели [89], экономическая эффективность любых средств патрулирования для данного заказчика определяется тремя агрегированными показателями:

- постоянными затратами на организацию патрулирования и содержание соответствующей инфраструктуры;
- скоростью движения в режиме патрулирования;
- стоимостью летного часа.

Предположим, что для каждого потенциального заказчика заданы соответствующие параметры наилучшей альтернативы БПЛА данного типа $c_{alt}^i$, $FC_{alt}^i$, $v_{alt}^i$, где $i = 1,..n$ – индекс заказчика, и определен достижимый при этом минимум целевой функции:

$$TC_{alt}^{i\min} = FC_{alt}^i + b^i + 2\sqrt{a^i \cdot \frac{c_{alt}^i}{v_{alt}^i}} \qquad (6.12)$$

(все условные обозначения идентичны введенным в п. 7.2, но снабжены индексом заказчика). Заказчик сделает выбор в пользу БПЛА данного типа, если его применение позволит достичь меньшего значения целевой функции. Предположим, что цена БПЛА $j$-го типа равна $p_j$, и одинакова для всех потенциальных заказчиков, т.е., ценовой дискриминации нет. Тогда средняя стоимость летного часа БПЛА $j$-го типа для $i$-го потенциального заказчика может быть выражена следующим образом:

$$c_j^i = \frac{p_j}{T_j^i} + g_j^i \cdot p_{\text{ГСМ}}^i + m_j^i + r^i, \qquad (6.13)$$

где $g_j^i$ – среднее значение часового расхода топлива;

$p_{\text{ГСМ}}^i$ – цена авиатоплива (с учетом доставки к месту базирования ЛА, хранения, и т.п.);

$T_j^i$ – назначенный ресурс БПЛА;

$m_j^i$ – затраты на ТОиР в расчете на летный час;

$r^i$ – часовая ставка зарплаты оператора наземного пункта управления БПЛА.

Подчеркнем, что вышеперечисленные технико-экономические параметры, определяющие стоимость летного часа БПЛА данного типа, принимают индивидуальные значения в парках различных заказчиков, из-за различия условий эксплуатации, системы цен, и т.п. Что касается затрат на оплату труда операторов, они зависят, прежде всего, не от типа БПЛА, а от характера целевой нагрузки и специфических обязанностей операторов, соответствующих данному заказчику, а также от ставок оплаты труда в данных отрасли и регионе. Постоянные затраты $i$-го потенциального заказчика на организацию патрулирования при помощи БПЛА $j$-го типа обозначим $FC_j^i$. На основании этих данных можно оценить оптимальный объем патрульных полетов БПЛА $j$-го типа и минимально достижимый при этом уровень целевой функции $i$-го потенциального заказчика:

$$x_{j\,opt}^i = \sqrt{\frac{a^i}{v_j^i \cdot c_j^i}}, \qquad (6.14)$$

$$TC_j^{i\min} = TC\left(x_{j\,opt}^i\right) = FC_j^i + b^i + 2\sqrt{a^i \cdot \frac{c_j^i}{v_j^i}}. \qquad (6.15)$$

Оптимальный среднегодовой спрос $i$-го заказчика на БПЛА $j$-го типа будет определяться следующим образом:

$$q_j^i = \gamma_j^i \cdot \frac{x_{j\,opt}^i}{T_j^i} = \frac{\gamma_j^i}{T_j^i}\sqrt{\frac{a^i}{v_j^i \cdot c_j^i}}, \qquad (6.16)$$

где $\gamma_j^i$ – индикатор, принимающий следующие значения:

- 1, если БПЛА $j$-го типа является для $i$-го заказчика оптимальным средством патрулирования (т.е., $TC_j^{i\min} = \min\limits_k TC_k^{i\min}$, где $k$ – индекс средства патрулирования) и удовлетворяет требованиям по величине полезной нагрузки ($G^i \le G_j$);
- 0, во всех остальных случаях.

То есть,

$$\gamma_j^i = \begin{cases} 1, TC_j^{i\min} = \min\limits_k TC_k^{i\min} \cup G^i \le G_j \\ 0 \end{cases} \quad (6.17)$$

Заметим, что величина $\sqrt{a^i}$, фактически, определяет потребность $i$-го заказчика в БПЛА (если выбор будет сделан в их пользу) и возможную емкость соответствующего сегмента рынка, а также минимальное значение целевой функции $i$-го заказчика. Можно назвать эту величину *параметром масштаба* заказчика. Она определяется характеристиками патрулируемого объекта и пропорциональна длине трассы, а также корню квадратному из стоимостной оценки ущерба и частоты аварийных ситуаций. Следует подчеркнуть, что параметр масштаба, хотя и не имеет непосредственной физической интерпретации, не сконструирован искусственно, а естественным образом вытекает из вышеописанной модели оптимального спроса на патрульные БПЛА.

Можно оценить суммарный спрос всех потенциальных заказчиков на БПЛА $j$-го типа, выпускаемые данным производителем, по следующей формуле:

$$q_j = \sum_{i=1}^{n} q_j^i, \; j = 1,..m. \quad (6.18)$$

Годовая выручка производителя от продажи всех выпускаемых им типов БПЛА определяется следующей формулой:

$$R = \sum_{j=1}^{m} p_j \cdot q_j = \sum_{j=1}^{m} p_j \cdot \sum_{i=1}^{n} q_j^i. \quad (6.19)$$

Пусть длительность периода продаж БПЛА $j$-й модели составляет $\tau_j$ лет, и на протяжении этого периода потребности потенциальных заказчиков не меняются (при необходимости это упрощающее допущение может быть снято). Тогда прогноз общего объема продаж БПЛА за весь ЖЦИ можно получить, умножив на $\tau_j$ оценку среднегодового спроса:

$$Q_j = \tau_j \cdot q_j, \; j = 1,...m. \quad (6.20)$$

На основе прогнозных значений общих объемов продаж различных моделей БПЛА, можно оценить общую прибыль производителя за весь ЖЦИ:

$$П = \sum_{j=1}^{m} \left\{ \left( p_j - c_{\text{мат}\,j} \right) \cdot Q_j - c_{\text{тр}\,j}^{\text{перв}} \sum_{q=1}^{Q_j} \left(1 - \lambda\right)^{\log_2 q} - FC_{\text{произв}\,j} \right\} - FC_{\text{произв БПЛА}}, \quad (6.21)$$

где $c_{\text{мат}\,j}$ – удельные материальные затраты на выпуск одного БПЛА $j$-й модели;

$c_{\text{тр}\,j}^{\text{перв}}$ – удельные трудозатраты на выпуск первого экземпляра БПЛА $j$-й модели;

$\lambda$ – темп обучения в процессе серийного производства (подробнее см. п. 1.1);

$FC_{\text{произв } j}$ – постоянные затраты на разработку и технологическую подготовку производства БПЛА $j$-й модели. В эту величину включаются лишь те постоянные затраты, которые являются специфичными для данной модели БПЛА, поскольку любое предприятие, разрабатывающее и выпускающее БПЛА, вынуждено, в любом случае, нести постоянные затраты $FC_{\text{произв БПЛА}}$, общие для всех типов изделий. К таким общим затратам относятся:

- стоимость НИОКР, нацеленных на развитие конструкций и технологий производства БПЛА как таковых;
- затраты на универсальное (т.е., предназначенное для выпуска изделий различных типоразмеров) технологическое оборудование, программное обеспечение, и т.п.

В качестве критерия оптимальности модельного ряда может выступать суммарная прибыль данного производителя за весь жизненный цикл портфеля проектов БПЛА, чистая текущая стоимость портфеля проектов и т.д. Управляющими переменными в оптимизационной задаче являются:

- индикаторы $\left\{\delta^i\right\}$, определяющие состав модельного ряда данного производителя;
- если $\delta^i = 1$, т.е., если принято решение о выпуске специализированного типа БПЛА для данного сегмента рынка – цена БПЛА и его проектные параметры, определяющие достижимые в парке различных заказчиков скорость полета, расход топлива, ресурс и т.п.

Последовательность решения оптимизационной задачи формирования модельного ряда такова. Сначала определяется некоторый состав модельного ряда, т.е., набор индикаторов $\left\{\delta^i\right\}$. Затем при заданном составе модельного ряда оптимизируются цены и проектные параметры каждой модели БПЛА, и рассчитывается максимально достижимое для данного состава модельного ряда значение целевой функции. После этого состав модельного ряда может быть изменен, и т.д. Задачу оптимизации состава модельного ряда можно назвать «внешней», а задачу совместной оптимизации цен и проектных параметров отдельных моделей БПЛА – «внутренней» оптимизационной задачей. В общем случае, для нахождения глобального оптимума придется перебрать все возможные составы модельного ряда, т.е., все возможные сочетания индикаторов $\left\{\delta^i\right\}$. Их общее количество равно $2^n$, поскольку каждый из $n$ индикаторов может принимать значения 0 и 1. При этом допускается, что модельный ряд не будет покрывать потребностей всех потенциальных заказчиков, если окажется, что данному производителю вообще невыгодно создавать изделия для соответствующих сегментов рынка.

Формированию оптимального модельного ряда перспективных ЛА посвящена, например, вышеупомянутая работа [9]. В ряде зарубежных публикаций [168] решается задача оптимального проектирования унифицированной платформы, на которой могут быть построены БПЛА как гражданского, так и военного назначения. Решению задачи оптимального проектирования многоцелевых беспилотных комплексов посвящены классические работы еще советской эпохи [115]. Подчеркнем принципиальную новизну постановки решаемой здесь оптимизационной задачи.

1) *Управляющие переменные:* в отличие от традиционной задачи оптимального проектирования, в рыночных условиях в число управляющих переменных «внутренней» оптимизационной задачи включается цена изделия.

2) *Критерий:* в отличие от подходов, используемых, например, в работе [9], состав модельного ряда выбирается не по народнохозяйственному критерию. Критерием является целевая функция разработчика и производителя БПЛА, а согласование его интересов с интересами потенциальных заказчиков достигается включением в модель их функций оптимального спроса. При этом каждый потенциальный заказчик решает свою оптимизационную задачу при заданных ценах и характеристиках БПЛА. Такой подход, используемый, например, в статье [77], более корректен в рыночных условиях, в которых необходимо достичь согласования интересов свободно действующих участников рынка – как разработчиков и производителей изделий, так и платежеспособных покупателей.

3) *Ограничения:* в отличие от условий, поставленных в работах [9, 115, 168], уже не считается необходимым удовлетворить (тем более, оптимальным, в некотором смысле, образом) запросы всех потенциальных заказчиков, поскольку им доступны и альтернативные средства патрулирования.

В случае, если данный производитель БПЛА является монополистом, решение его оптимизационной задачи полностью определяет равновесие на данном рынке. Если же (что наиболее вероятно в реальности) у данного производителя есть конкуренты, их продукция может быть альтернативой продукции данного производителя. В принципе, описанный выше подход к прогнозированию спроса на БПЛА предусматривает наличие у каждого потенциального заказчика альтернативных возможностей организации патрулирования, характеризующихся агрегированными параметрами $c_{alt}^{i}$, $FC_{alt}^{i}$, $v_{alt}^{i}$. С одной стороны, продукция конкурентов может и не являться в данный момент наилучшей альтернативой для того или иного заказчика. С другой стороны, она может стать таковой, если конкуренты проводят активную маркетинговую политику, изменяя цены и характеристики своей продукции.

С учетом наличия конкурирующих производителей, анализ конъюнктуры рынка БПЛА можно проводить по следующему итеративному алгоритму:

1) при заданных составах модельных рядов, проектных параметрах и ценах продукции конкурентов, найти оптимальный состав модельного ряда, оптимальные проектные параметры и цены изделий данного производителя;

2) решить аналогичные оптимизационные задачи для каждого из конкурирующих производителей, считая поведение всех остальных предприятий неизменным.

Далее следует повторять шаги (1–2) до тех пор, пока изменения оптимальных решений не станут относительно малыми, что будет свидетельствовать о приближении к состоянию игрового равновесия. Предполагается, что каждый игрок, принимая оптимальное на данном шаге решение, считает поведение своих соперников заданным и не ожидает какой-либо реакции с их стороны на изменение своей политики, поэтому данную модель конкурентного рынка можно классифицировать как *олигополию Курно*, подробнее см. [147].

В качестве иллюстрации применения предлагаемого подхода, рассмотрим следующий упрощенный пример. Имеется три группы потенциальных заказчиков, характеристики которых приведены в табл. 6.1. Предположим для простоты иллюстративных расчетов, что скорость полета БПЛА в режиме патрулирования, их ресурс, а также постоянные затраты данного заказчика на организацию патрулирования с помощью БПЛА не зависят от типа используемых БПЛА, и определяются, главным образом, спецификой заказчика. Скорость полета определяется характером патрульных задач, составом бортового оборудования. Что касается ресурса, здесь считается, что гораздо вероятнее потеря БПЛА при столкновении с землей (вероятность которой также определяется, в основном, спецификой патрулируемого объекта и режима патрулирования), чем достижение предельных значений повреждаемости конструкции.

*Таблица 6.1*

Характеристики потенциальных заказчиков

| *Заказчик* | *A* | *B* | *C* |
|---|---|---|---|
| Потребная полезная нагрузка, кг | 55 | 10 | 20 |
| Часовая ставка оплаты труда операторов БПЛА, долл./л.ч. | 100 | 20 | 30 |
| Цена авиатоплива с доставкой, долл./т | 1000 | 1000 | 1000 |
| Постоянные затраты при использовании БПЛА, млн долл./год | 15 | 10 | 11 |
| Среднегодовой налет БПЛА, л.ч./год | 1000 | 1500 | 1300 |
| Средний ресурс БПЛА в режиме патрулирования, л.ч. | 500 | 1000 | 700 |
| Скорость полета БПЛА в режиме патрулирования, л.ч. | 100 | 150 | 120 |
| *Коэффициенты, описывающие патрулируемый объект:* | | | |
| Длина патрулируемой магистрали, тысяч км | 150 | 120 | 130 |
| Средняя частота возникновения аварий, событий/(км·год) | 0,004 | 1 | 0,5 |
| Удельный ущерб от неустраненной аварии, долл./ч | 4000 | 100 | 500 |
| Среднее время устранения обнаруженной аварии, ч | 12 | 24 | 18 |
| Коэффициент $a$, млрд (долл./год) × (км/год) | 3,15 | 12,6 | 37,0 |
| Коэффициент $b$, млн долл./год | 28,8 | 288 | 585 |
| *Параметры наилучшей альтернативы:* | | | |
| Стоимость летного часа, долл./л.ч. | 1000 | 1000 | 1000 |
| Постоянные затраты, млн долл./год | 0 | 0 | 0 |
| Средняя скорость полета, км/ч | 100 | 150 | 120 |
| Достижимый минимум целевой функции, млн долл./год | 384 | 868 | 1696 |

На рис. 6.2 наглядно представлены основные интегральные характеристики потенциальных заказчиков – значения требуемой полезной нагрузки $G^i$ и значения параметра $\sqrt{a^i}$, который, как было отмечено выше, характеризует масштаб данного заказчика и его возможную потребность в БПЛА (натуральную и стоимостную).

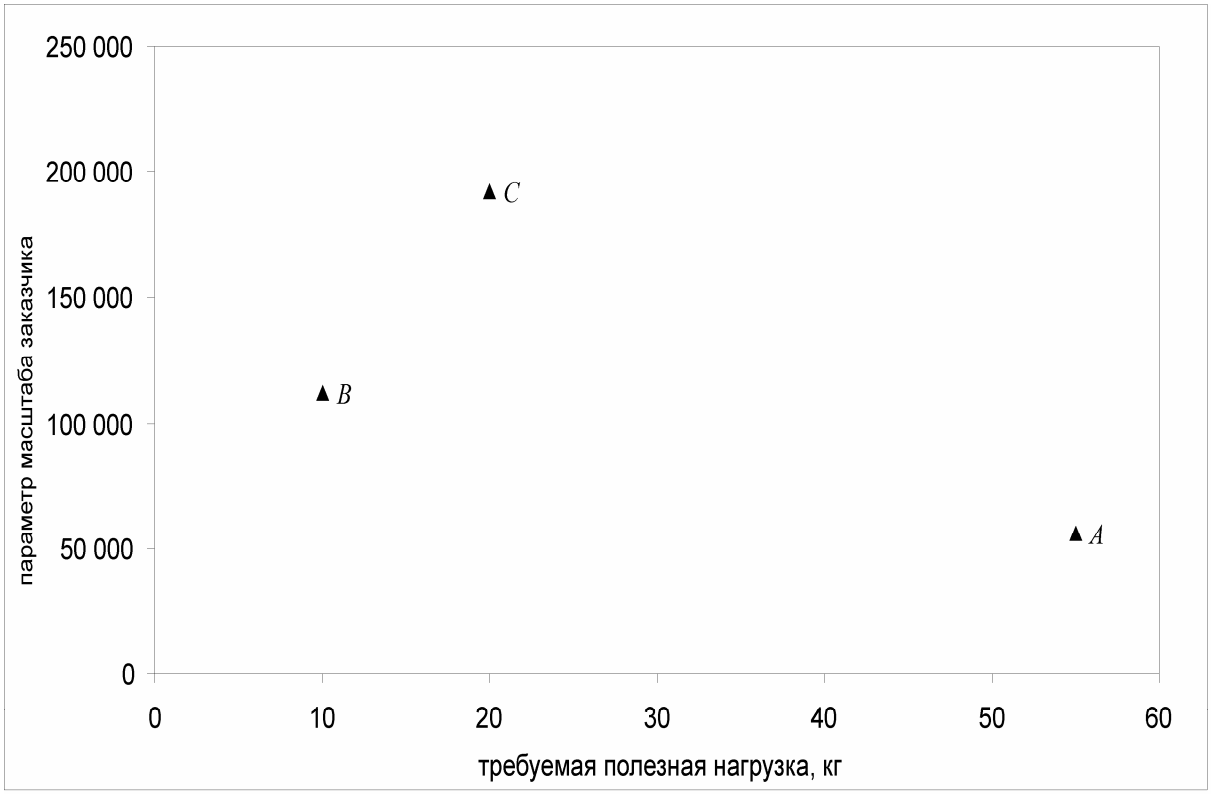


Рис. 6.2. Характеристики потенциальных заказчиков в пространстве «масштаб – требуемая полезная нагрузка»

В данном примере требуемая заказчиком *A* полезная нагрузка существенно выше, чем для заказчиков *B* и *C*, которые по данному параметру относительно близки, поэтому заказчик *A* обособлен от прочих. При этом параметр масштаба «младшего» (по величине требуемой полезной нагрузки) заказчика *B* существенно ниже, чем у «старшего» заказчика *C*. Хотя в предлагаемой модели предусмотрено различие скорости полета и стоимости летного часа данной модели БПЛА в парках разных заказчиков, эти величины могут варьировать, как правило, в пределах нескольких десятков процентов, тогда как параметры масштаба и требуемая полезная нагрузка для разных заказчиков могут различаться в несколько раз или даже на порядки. Поэтому именно этим показателям уделяется основное внимание.

В табл. 6.2 приведены технико-экономические параметры всех моделей БПЛА, которые в принципе могли бы быть разработаны и выпускаться данным предприятием для нужд заказчиков *A*–*C*.

*Таблица 6.2*

Технико-экономические параметры БПЛА

| *Модель БПЛА* | *1* | *2* | *3* |
|---|---|---|---|
| Допустимая полезная нагрузка, кг | 60 | 12 | 25 |
| Максимальная скорость полета, км/ч | 200 | 180 | 170 |
| Среднечасовой расход топлива, кг/л.ч. | 90 | 22 | 37 |
| Среднечасовые затраты на ТОиР, долл./л.ч. | 20 | 10 | 15 |

Для упрощения примера предполагается, что технико-экономические параметры данного типа БПЛА не зависят от того, в парке какого заказчика эксплуатируются эти изделия. Также предполагается, что проектные параметры всех моделей фиксированы. В данном примере, фактически, задача состоит в следующем. Необходимо определить, целесообразно ли выпускать специальные типы БПЛА для всех трех категорий потенциальных заказчиков, или выгоднее унифицировать модели, предназначенные для некоторых заказчиков. При этом для каждого возможного состава модельного ряда необходимо оптимизировать цены выпускаемых моделей БПЛА.

В табл. 6.3 приведены параметры себестоимости всех моделей БПЛА, которые потенциально могут быть разработаны и выпускаться.

*Таблица 6.3*

Себестоимость разработки и производства БПЛА

| *Модель БПЛА* | *1* | *2* | *3* |
|---|---|---|---|
| Общие постоянные затраты производителя БПЛА, млрд долл. | 2,0 | | |
| Постоянные затраты на НИОКР и ТПП, млн долл. | 1 000 | 500 | 750 |
| Удельные материальные затраты на 1 изделие, тыс. долл./ед. | 100 | 25 | 50 |
| Удельные трудозатраты на первое изделие, тыс. долл. | 500 | 150 | 300 |
| Темп обучения в процессе серийного производства | 20 % | | |

Предположим, что длительность периода продаж БПЛА $\tau_j$ для всех моделей составляет 20 лет, и на протяжении этого периода потребности потенциальных заказчиков не меняются. В качестве критерия оптимизации выступает суммарная прибыль данного производителя за весь жизненный цикл описанных моделей БПЛА. В табл. 6.4 приведены результаты решения этой оптимизационной задачи.

*Таблица 6.4*

Оптимальные цены БПЛА и показатели работы производителя

| *Модель БПЛА* | *1* | *2* | *3* |
|---|---|---|---|
| Оптимальная цена, тыс. долл./ед. | 353 | – | 393 |
| Суммарный объем выпуска за ЖЦИ | 7 400 | 0 | 28 240 |
| Суммарная прибыль за ЖЦИ, млрд долл. | 7,0 | | |

На рис. 6.3, помимо характеристик потенциальных заказчиков, приведенных на рис. 6.2, наглядно изображены параметры моделей БПЛА, которые оказалось целесообразным разрабатывать и выпускать: полезная нагрузка и цена (по вспомогательной оси ординат).

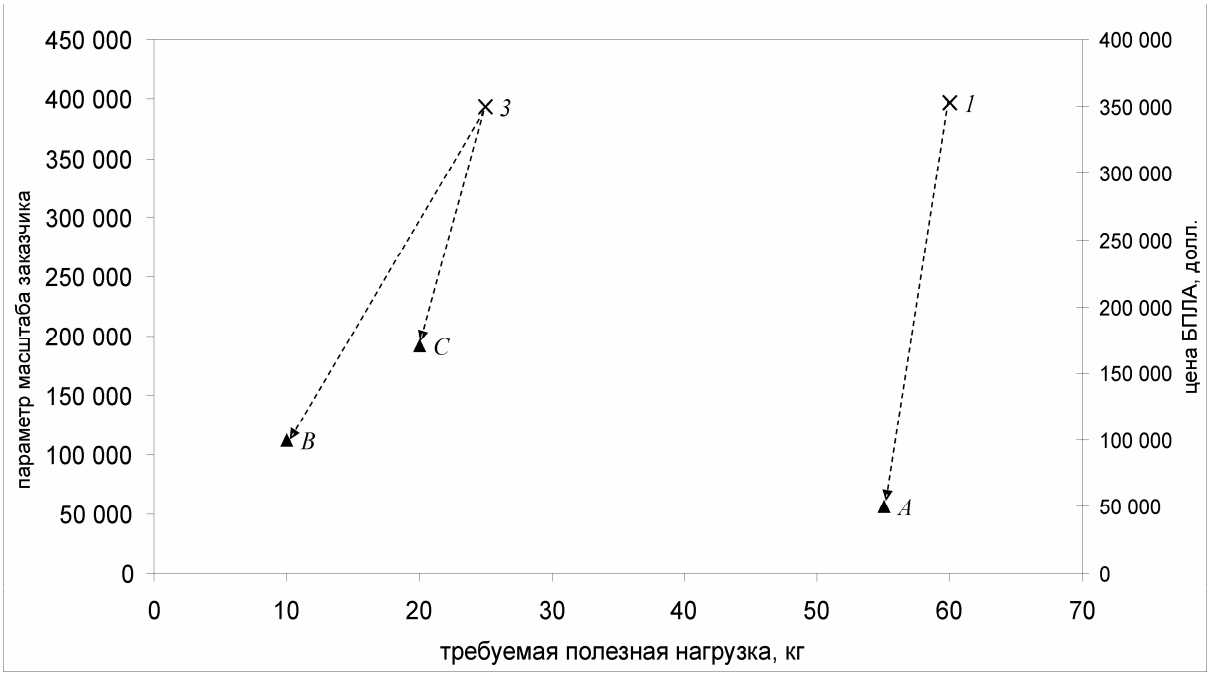


Рис. 6.3. Характеристики потенциальных заказчиков, оптимальный состав модельного ряда и оптимальные цены БПЛА

Масштаб заказчика *B* в данном примере существенно меньше, чем масштаб заказчика *C*. При этом модель, предназначенная для заказчика *C*, может удовлетворять и потребности заказчика *B*. В итоге оказалось целесообразным предложить заказчикам *B* и *C* унифицированную модель. Однако, если при прочих равных условиях параметр масштаба заказчика *B* существенно увеличится (например, если частота возникновения аварий возрастет до 2 $(\text{г}\cdot\text{км})^{-1}$, а удельный ущерб от аварии – до 150 долл./ч, он возрастет почти вдвое, при неизменной длине патрулируемой трассы), уже станет выгодным разрабатывать и производить для него специализированную модель. Соответствующие результаты приведены в табл. 6.5 и на рис. 6.4, аналогичных табл. 6.4 и рис. 6.3.

*Таблица 6.5*

Оптимальные цены БПЛА и показатели работы производителя

| *Модель БПЛА* | *1* | *2* | *3* |
|---|---|---|---|
| Оптимальная цена, тыс. долл./ед. | 353 | 412 | 393 |
| Суммарный объем выпуска за ЖЦИ | 7 400 | 14 720 | 19 760 |
| Суммарная прибыль за ЖЦИ, млрд долл. | 9,3 | | |

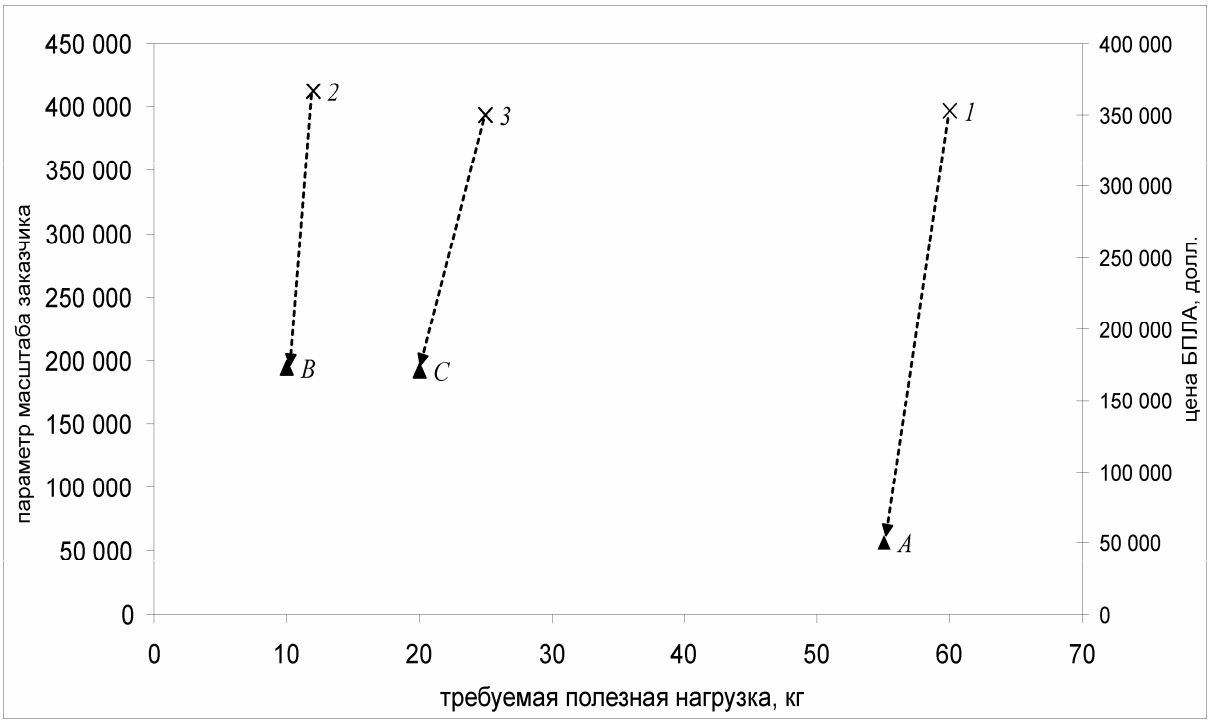


Рис. 6.4. Характеристики потенциальных заказчиков, оптимальный состав модельного ряда и оптимальные цены БПЛА

Можно заметить, что в данном примере оптимальные цены меньших моделей оказались выше, чем более крупных. Это объясняется следующим образом. Цена БПЛА ограничивается, главным образом, параметрами наилучшей для данного заказчика альтернативы. Поскольку эти параметры для всех заказчиков принимались в табл. 6.1 одинаковыми (например, соответствующими вертолету), «запретительные» уровни стоимости летного часа для всех заказчиков также близки. В то же время, эксплуатационные затраты более легких БПЛА ниже, и заказчики готовы заплатить за них больше. Разумеется, при наличии конкуренции на рынке БПЛА, меньшие себестоимости более легких моделей обусловят их меньшие цены.

**Выводы по главе 6**

1. Спрос на беспилотные летательные аппараты и выполняемые ими патрульные работы определяется экономической эффективностью патрулирования. Применение перспективных средств патрулирования способно принести существенную экономию не столько за счет удешевления патрульных полетов, но, прежде всего, за счет сокращения ожидаемого ущерба благодаря более раннему обнаружению нештатных ситуаций, которое достигается при некотором увеличении интенсивности патрулирования.

2. Показано, что оптимальный спрос на патрульные БПЛА неэластичен по цене, вплоть до некоторого запретительного значения, после кото-

рого спрос падает до нуля, поскольку потенциальный заказчик откажется от приобретения БПЛА в пользу более дешевых альтернатив.

3. С помощью предложенных методов оптимизации модельного ряда БПЛА патрульного назначения выявлены следующие закономерности:

- целесообразность унификации моделей, предназначенных для разных заказчиков, повышается, если требования этих заказчиков к минимальной полезной нагрузке близки, и масштаб «младших» заказчиков не превосходит масштаба «старшего» заказчика;
- целесообразность разработки и производства специализированной модели, предназначенной для данного заказчика, повышается, если расход топлива такой модели и удельные материальные затраты на ее производство существенно ниже соответствующих показателей унифицированной модели.

Предлагаемый подход может использоваться при формировании модельного ряда перспективных ЛА, для которых отсутствует опыт массового выпуска и коммерческой эксплуатации.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая выводы, сделанные в отдельных главах этой книги, можно сформулировать следующие ответы на вопросы, поставленные во введении.

Удовлетворение потребностей воздушного транспорта страны – не единственная цель развития национального авиастроения, тем более, что только за счет внутреннего спроса в России нельзя достичь рентабельных объемов продаж авиатехники. Авиационная промышленность обеспечивает массовую занятость высококвалифицированных кадров, стимулирует научно-технологическое развитие страны. Рентабельная авиационная промышленность не может иметь малые масштабы и объемы выпуска. Ее эффективное развитие требует не сокращения оставшихся предприятий и работников, а обеспечения массового производства конкурентоспособной авиатехники, в т.ч. и на экспорт.

Однако даже конкурентоспособная авиационная промышленность нуждается в государственной поддержке – в т.ч. финансовой – в силу большой длительности жизненного цикла изделий (в т.ч. предпроизводственных стадий), высокого уровня рисков, что делает авиастроительные проекты малопривлекательными для частного капитала. Кроме того, как фондообразующая отрасль, авиастроение подвержено риску резкого изменения спроса на продукцию даже при небольших колебаниях спроса на авиаперевозки. Поскольку спад выпуска авиатехники грозит потерей накопленного опыта ее производства и разрушением потенциала авиастроения, необходима стабилизация объемов перевозок, продаж авиатехники и выручки авиастроительных предприятий.

Наиболее существенный прирост спроса на авиатехнику – даже при неблагоприятной конъюнктуре рынка перевозок – достигается благодаря качественному обновлению парка, т.е. досрочной замене морально устаревшей авиатехники изделиями нового поколения. Однако для того, чтобы авиакомпании были экономически заинтересованы в такой замене, новое поколение должно обладать значительным, «прорывным» превосходством в экономической эффективности перед ныне эксплуатируемыми изделиями. По объективным причинам становится практически невозможно достичь такого превосходства в рамках традиционных технологий, в силу исчерпания резервов их развития.

Важным фактором обновления парка гражданской авиатехники является ужесточение экологических норм, стандартов безопасности и т.п. С одной стороны, эти процессы могут иметь и коммерческую мотивацию, т.е. могут использоваться для стимулирования сбыта авиатехники (особенно в периоды стагнации на рынке). При этом интересы авиакомпаний развитых стран мира не ущемляются благодаря тому, что авиатехнику, не удовлетворяющую новым нормам, можно продать в страны третьего мира. С другой стороны, государственное вмешательство объективно необходимо для повышения экологической чистоты парка авиатехники – даже если оно сопровождается улучшением экономических характеристик. При этом, помимо прямых запретов на эксплуатацию изделий старого поколения, возможно и налоговое стимулирование их

ускоренной замены. Причем, наиболее обосновано прямое налогообложение эксплуатации старых типов авиатехники, а не налогообложение вредных выбросов изделий всех типов, предусмотренное Киотским протоколом.

Современные и перспективные типы гражданской авиатехники, создаваемые в России, по своим технико-экономическим характеристикам не являются «прорывными». Проекты их создания чрезвычайно рискованны с коммерческой точки зрения, однако, безусловно, должны быть реализованы из стратегических соображений. Более того, их реализацию следует форсировать (в т.ч. за счет прямой государственной поддержки), поскольку даже относительно небольшое запаздывание вывода новых типов авиатехники на рынки грозит полным коммерческим провалом проекта. В долгосрочной перспективе российскому авиастроению следует искать новые емкие ниши рынка гражданской авиатехники, по возможности, не вступая в непродуктивную и рискованную прямую конкуренцию с зарубежными авиастроительными компаниями.

Целесообразно исследовать возможность обеспечения массовой доступности авиатранспорта для большинства населения России и развивающихся стран мира, в т.ч. в регионах с неразвитой наземной инфраструктурой. Однако при этом необходимо также обеспечить невозрастание совокупного потребления энергоресурсов и объема эмиссии вредных веществ. Выполнение этого требования возможно лишь при условии радикального сокращения удельного расхода невозобновляемых энергоносителей (пусть даже ценой снижения крейсерской скорости полета, по сравнению с современными реактивными самолетами). Это, в свою очередь, требует принципиально новых конструктивно-технологических решений, для выработки которых целесообразно развернуть широкий спектр фундаментальных и поисковых исследований и разработок во всех областях авиационной науки. При этом не следует опасаться того, что лишь малая часть направлений поиска приведет к успеху. Диверсификация поисковых исследований и разработок позволит достичь временн**о**го преимущества перед конкурентами, что критически важно на рынках инновационной продукции.

Также целесообразен поиск новых сфер применения авиации – прежде всего, беспилотной – в народном хозяйстве. При этом экономическая эффективность замены пилотируемых ЛА беспилотными отнюдь не ограничивается лишь сокращением эксплуатационных затрат. Благодаря удешевлению выполнения полетов, оказывается возможным увеличить их оптимальную интенсивность и достичь большего эффекта в отраслях-потребителях авиационных услуг и работ.

Таким образом, несмотря на то, что емкость внутреннего российского рынка традиционной авиатехники, действительно, мала, существуют немалые резервы повышения его емкости (а также емкости экспортных рынков), если инновационное развитие национального авиастроения будет направлено на комплексное решение насущных социально-экономических проблем широких слоев населения страны. Такое инновационное развитие требует постоянных и полномасштабных системных исследований перспектив развития авиации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Авдашева С.Б., Розанова Н.М.* Теория организации отраслевых рынков / М.: «Магистр», 1998 – 320 с.
2. *Авдеев Ю.* Когда взлетит “Белый лебедь”? // газета “Красная звезда”, 12.12.2005.
3. Авиакомпании США сокращают расходы за счет пассажиров // Коммерсант, 15.05.2006.
*4.* Авиастроение: летательные аппараты, двигатели, системы, технологии / под ред. А.Г. Братухина. М.: Машиностроение, 2000. – 536 с.
5. Авиационный рынок России. 1997-2015 гг. / М.: Авиационный сертификационный центр ГосНИИ ГА, 1997.
6. *Автушко Н.* Вертолетная модернизация // сайт www.aviaport.ru, 10.01.2004.
7. *Аксенов И.Я.* Единая транспортная система / М.: Высшая школа, 1991 – 383 с.
8. *Александровская Л.Н, Афанасьев А.П., Лисов А.А.* Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем / М.: Логос, 2001 – 208 с.
9. *Андреевский В.В.* Экономические аспекты выбора типажа и структуры парка перспективных отечественных магистральных пассажирских самолетов // Полет, № 1, 1999, С. 55-60.
10. *Бадягин А.А., Егер С.М., Мишин В.Ф., Склянский Ф.И., Фомин Н.А.* Проектирование самолетов / М.: Машиностроение, 1972. – 516 с.
11. *Балашов В.В., Смирнов А.В.* Эконометрическая структурная модель спроса на перевозки авиапассажиров // Вестник МАИ, т. 13, № 2, 2006, С. 106–114.
12. *Балашов В.В., Смирнов А.В.* Модель оценки спроса на пассажирские авиаперевозки, оплачиваемые пассажирами из собственных средств // Научный вестник МГТУ ГА. Серия «Общество. Экономика. Образование». № 104, 2006, С. 24–31.
13. *Баринов А.Э.* Системные и политические факторы удорожания крупных инвестиционных проектов в мировой экономике // Проблемы прогнозирования, № 6, 2007, С. 132–144.
14. *Бейкер Л.* Эффект рикошета // В мире науки, № 9, 2007.
15. *Богданов В.* Состояние и некоторые возможные пути развития реактивной техники // Двигатель, № 5–6, 2005.
16. *Бодрунов С.Д., Дмитриев О.Н., Ковальков Ю.А.* Авиационно-промышленный комплекс России на рубеже XXI века: проблемы эффективного управления. В 2-х ч. / СПб., 2002. Ч. 1 – 545 с., ч. 2 – 549 с.
17. *Бойкова М.В., Гаврилов С.Д., Гавриличева Н.А.* Авиация будущего // Форсайт, № 1 (9), 2009, С. 5–15.

*18. Болотин В.В.* Прогнозирование ресурса машин и конструкций / М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
19. *Бонд Д.* В книгу о шуме вписывается четвертая глава // Авиатранспортное обозрение, № 1 (32), 2001.
20. *Брагинский О.Б.* Производство моторных топлив из природного газа // Природный газ в странах содружества. Совместное издание журналов “Petroleum Economics” и “Газовая промышленность”, 1996.
21. *Братухин А.Г., Батков А.М., Воинов А.Ф., и др.* Авиастроение России / М.: Машиностроение, 1995 – 392 с.
22. *Братухин А.Г., Куличков Е.Н., Калачанов В.Д.* Конверсия авиакосмического комплекса России / М.: Машиностроение, 1995. – 272 с.
*23. Буриченко Л.А., Ененков В.Г., Науменко И.М., Протоерейский А.С.* Охрана окружающей среды в гражданской авиации / М.: Машиностроение, 1992.
24. *Бюшгенс Г.С., Бедржицкий Е.Л.* ЦАГИ – центр авиационной науки / М.: Наука, 1993 – 272 с.
25. *Бюшгенс Г.С., Дмитриев В.Г., Климин А.В., Павловец Г.А.* Использование дозаправки в полете при пассажирских перевозках на авиалиниях большой протяженности // Полет, № 7, 2002.
26. *Варшавский Л.Е.* Исследование влияния рыночной структуры на динамику показателей олигополистического рынка // Экономика и математические методы, № 4, 2007, С. 80–88.
27. *Варшавский Л.Е.* 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», 2008, С. 113–121.
28. *Варшавский Л.Е.* Моделирование динамики цены на нефть при разных режимах развития рынка нефти // Прикладная эконометрика, № 1 (13), 2009, С. 70–88.
29. *Варшавский Л.Е.* Моделирование развития высокотехнологичных компаний-производителей продукции с длительным жизненным циклом с учетом процессов обучения // Концепции, № 1(22), 2009, С. 90–94.
30. *Васильев Э.В.* Анализ показателей транспортной эффективности экраноплана // web-публикация: http://ekranoplan-ru.narod.ru/A_EKRAN.htm
31. *Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А.* Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. М.: Дело, 2004 – 888 с.
32. *Волков С.* К свободному полету над Европой // Двигатель, № 2, 2002.
33. *Волков К.* Летать по-новому // сайт www.aviaport.ru, 13.06.2006.
34. *Гаврилова А.Н.* Экономические аспекты организации производства дистанционно пилотируемых летательных аппаратов // в кн.: “Экономические методы организации производства в оборонно-промышленном комплексе России”. М.: МАИ, 2004, С. 24–35.

35. *Геворкян А.М., Минаев Э.С., Карасева А.А., и др.* Экономика и организация производства летательных аппаратов / М.: Машиностроение, 1995 – 168 с.
36. Гендиректор "Мотор Січі" Вячеслав Богуслаев – о политических рисках украинского авиастроения // сайт www.aviaport.ru, 09.03.2006.
37. *Гипич Г.Н., Клишин Ю.П.* Оценка результатов реструктуризации гражданской авиации России с позиций теории рисков // Полет, № 12, 2005, С. 6–12.
38. *Гнатюк В.И.* Закон оптимального построения техноценозов / М.: Издательство ТГУ – Центр системных исследований, 2005 – 383 с.
39. *Гольдштейн Г.Я.* Стратегический инновационный менеджмент / Таганрог: издательство ТРТУ, 2004 – 267 с.
40. *Гольц Г.А.* Инфраструктура и общество: принципы стратегии опережающего развития России // Экономическая наука современной России, № 2, 2000, С. 5–21.
41. *Горбунов А.* Новый старт российского авиапрома // сайт www.aviaport.ru, 03.11.2005.
*42. Гордон Дж.* Конструкции, или Почему не ломаются вещи / М: Мир, 1980. – 390 с.
*43. Горшкова И.В., Клочков В.В.* Упрощенные модели влияния географических и социально-экономических факторов на доступность воздушного транспорта // Труды 51-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук»: часть VI. Аэромеханика и летательная техника. М.: МФТИ, 2008, С. 116–119.
*44. Гривский С.А., Клочков В.В.* Влияние экономических кризисов на инновационное развитие авиационной промышленности // Материалы Международной научно-практической конференции «Управление инновациями – 2009». М.: ИПУ РАН, 2009, С. 93-100.
*45. Гусманов Т.М., Клочков В.В.* Экономические проблемы развития авиационной промышленности в условиях нестабильного спроса на авиаперевозки // Экономическая наука современной России, № 3, 2008, С. 98–109.
46. *Далецкий С.В, Деркач О.Я., Петров А.Н.* Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации / М.: Воздушный транспорт, 2002 – 216 с.
47. *Даффи П., Кандалов А.И.* А.Н. Туполев – человек и его самолеты / М.: Московский рабочий, 1999 – 264 с.
48. *Деминг Э.* Новая экономика / М.: Эксмо, 2006 – 208 с.
49. *Денисов В.Т., Денисов Д.Д.* Управление инновационным развитием гражданского самолетостроения // Экономика промышленности, № 1, 2008, С. 26–30.
50. *Деянов Е.А., Рулин В.И.* Возможность использования дозаправки в воздухе в гражданской авиации // Полет, № 9, 2007.

51. *Дмитриев В.Г., Бюшгенс Г.С.* О работах ЦАГИ. 1970–2000 годы и перспективы / Жуковский: ЦАГИ, 2001 – 112 с.
52. *Дмитриев В.Г., Мунин А.Г.* Экологические проблемы гражданской авиации // Аэрокосмический курьер, № 2, 2003, С. 15–17.
53. Евросоюз обнародует "черный список" авиакомпаний в начале года // по сообщению РИА "Новости", 08.09.2005.
54. *Егер С.М., Лисейцев Н.К., Самойлович О.С.* Основы автоматизированного проектирования самолетов / М.: Машиностроение, 1986 – 232 с.
55. *Елисаветский В., Фомин А.* Ремоторизация Ил-76: "Бурлак" против ПС-90 // Взлет, № 5, 2005.
56. *Журавин Ю.* «Витязь» на распутье // Коммерсантъ Business Guide, спецвыпуск «Транспортная авиация», 09.04.2008.
57. *Зрелов В.А., Бугаев С.В.* Анализ развития отечественных турбореактивных двигателей статистическими методами прогнозирования // Полет, № 6, 2006, С. 55–59.
58. *Иванова Н.В., Клочков В.В.* Проблемы планирования и реализации высокорисковых инновационных проектов в наукоемкой промышленности // Материалы X Всероссийского симпозиума "Стратегическое планирование и развитие предприятий". М.: ЦЭМИ, 2009, т. 3, С. 87–88.
59. *Израэль Ю.* Нас ждет ледниковый период? // газета "Аргументы и факты", 22.03.2006.
60. *Ильин В.Е., Левин М.А.* Бомбардировщики. В 2 т. / М.: Виктория АСТ, 1996.
61. *Ильин В.Е., Левин М.А.* Истребители / М.: Виктория АСТ, 1996 – 288 с.
62. Инновационный менеджмент в России: вопросы стратегического управления и научно-технологической безопасности / рук. авт. колл.: В.Л. Макаров, А.Е. Варшавский. М.: Наука, 2004 – 880 с.
63. Институциональная экономика: новая институциональная экономическая теория / под ред. проф. А.А. Аузана. М.: ИНФРА-М, 2005 – 416 с.
64. *Каблов Е., Гуняев Г.* Новые материалы для повышения экологичности силовых установок // Аэрокосмический курьер, № 2, 2003, С. 28–29.
65. *Калачанов В.Д., Васкевич К.Н., Джамай Е.В.* Проблемы инновационного развития наукоемкого производства в аэрокосмической промышленности России // Авиакосмическая техника и технология, № 2, 2003, С. 63–70.
66. *Калачанов В.Д., Джамай Е.В., Филатов М.В., Шапиро Б.М.* Экономический анализ производства и испытаний гражданской авиационной техники // Авиакосмическая техника и технология, № 1, 2001, С. 45–53.
67. *Карнозов В.* "Сибирь" отказывается от отечественной техники // сайт www.aviaport.ru, 02.02.2006.
68. *Каурова Н.Н.* Обследование пассажирских потоков на воздушном транспорте РФ // Маркетинг в России и за рубежом, № 6, 2000.
69. *Качалов Р.М.* Управление хозяйственным риском / М.: Наука, 2002 – 192 с.

70. *Клейнер Г.Б.* Макроэкономические факторы и ограничения экономического роста // Проблемы теории и практики управления, № 5, 2004, С. 28–34.
71. *Климин А.В., Клочков В.В.* Анализ эффективности заправки гражданских самолетов в воздухе // Полет, специальный выпуск к 90-летию ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008, С. 64–69.
72. *Климов В., Павлов Ал., Павлов Ан., Гайсин Ф.* Авиационный бизнес / М.: Московский рабочий, 2002 – 208 с.
73. *Клинский Б., Назаренко Ю.* К вопросу об антропогенном изменении климата, и о проблемах с Монреальским и Киотским протоколами // Двигатель, № 6, 2005.
74. *Клочков В.В.* Организация сети территориальных центров технического обслуживания и ремонта авиадвигателей // Организатор производства, № 4, 2004, С. 78–83.
75. *Клочков В.В.* Организационно-экономические механизмы повышения качества и конкурентоспособности продукции (на примере авиационного двигателестроения) // Организатор производства, № 3, 2005, С. 74–81.
76. *Клочков В.В.* Критерии конкурентоспособности продукции авиационного двигателестроения // Полет, № 12, 2005, С. 54–60.
77. *Клочков В.В.* Прогнозирование спроса на продукцию авиационной промышленности в современных условиях // Проблемы прогнозирования, № 1, 2006, С. 71–86.
78. *Клочков В.В.* Организация конкурентоспособного производства и послепродажного обслуживания авиадвигателей / М.: Экономика и финансы, 2006. – 464 с.
79. *Клочков В.В.* CALS-технологии в авиационной промышленности: организационно-экономические аспекты / М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008 – 124 с.
80. *Клочков В.В., Болбот Е.А.* Социально-экономические аспекты инновационного развития экономики // Вестник Уральского государственного технического университета, серия «Экономика и управление», № 5, 2009, с. 86-97.
81. *Клочков В.В., Гусманов Т.М.* Проблемы прогнозирования спроса на перспективные пассажирские самолеты российского производства // Проблемы прогнозирования, № 2, 2007, С. 16–31.
*82. Клочков В.В., Гусманов Т.М.* Экологические стандарты как инструмент стимулирования спроса на продукцию авиационной промышленности // Маркетинг в России и за рубежом, № 3, 2007, С. 39–45.
83. *Клочков В.В., Гусманов Т.М.* Маркетинговые информационные технологии в авиастроении // Маркетинг в России и за рубежом, № 6, 2007, С. 10–18.
84. *Клочков В.В., Игнатьева А.И.* Экономический анализ эффективности государственной политики в сфере экологии воздушного транспорта // Авиакосмическая техника и технология, № 1, 2009, С. 52–61.

85. *Клочков В.В., Игнатьева А.И.* Эколого-экономические проблемы обновления мирового парка авиатехники // Экономика природопользования, № 2, 2009, С. 23–40.
86. *Клочков В.В., Кондратов Ю.Е.* Новые стратегии развития авиакомпаний в условиях роста цен на авиатопливо // Материалы VIII Всероссийского симпозиума “Стратегическое планирование и развитие предприятий”. М.: ЦЭМИ, 2007, т. 3, С. 83–84.
87. *Клочков В.В., Нижник М.В.* Анализ емкости российского рынка гражданской авиатехники и рисков ее изменения // Маркетинг в России и за рубежом, № 4, 2009, С. 98–112.
88. *Клочков В.В., Нижник М.В., Русанова А.Л.* Прогнозирование экономической эффективности создания новых видов скоростного пассажирского транспорта // Проблемы прогнозирования, № 3, 2009, С. 58–76.
89. *Клочков В.В., Никитова А.К.* Методы прогнозирования спроса на беспилотные летательные аппараты и работы по воздушному патрулированию // Проблемы прогнозирования, № 6, 2007, С. 144–151.
90. *Клочков В.В., Никитова А.К., Ефимова Н.С.* Экономическое обоснование основных направлений разработки авиационной техники (на примере беспилотных летательных аппаратов) // Вестник Московского авиационного института, т. 16, № 5, 2009, С. 82-91.
91. *Клочков В.В., Русанова А.Л.* Проблемы стратегического позиционирования российской наукоемкой промышленности (на примере гражданского авиастроения) // Экономическая наука современной России, № 4, 2009.
92. *Клочков В.В., Шкадова А.А., Ждановский А.В.* Экономические аспекты морального устаревания техники // Технология машиностроения, № 11, 2008, С. 65–70.
93. *Клочков В.В., Шустов А.В., Гусманов Т.М.* Экологические нормы как фактор конкурентной борьбы на рынках авиаперевозок и авиатехники // Авиакосмическая техника и технология, № 3, 2007, С. 61–70.
94. *Ковальков Ю.А.* Стратегия развития авиапромышленности обречена на плачевный результат // газета “Независимое военное обозрение”, № 5, 2006.
95. *Козлов Д.* Может быть построено до 700 самолетов МС-21 // сайт www.aviaport.ru, 29.09.2005.
96. *Козлов Д.* Разработка вертолета Ми-8ТГ, работающего на газовом топливе, не финансируется государством // сайт www.aviaport.ru, 11.11.2005.
97. *Колпаков С.К., Селиванова Н.А.* Сценарные оценки загрузки отечественной авиационной промышленности заказами на магистральные пассажирские самолеты со стороны гражданской авиации России // Экономический журнал ВШЭ, №2, 2001, С. 221–237.

98. *Корвяков П.В., Лазутин В.А., Окороков Ю.А.* Результаты практических работ по мониторингу объектов транспортировки газа с использованием малоразмерных низкобюджетных беспилотных летательных аппаратов // материалы Международной конференции «Вопросы создания и применения гражданских беспилотных систем». Москва, Экспоцентр, 27.01.2009.
99. *Коршунов Н., Котельников Р.* Лесные помощники – летающие роботы // Лесная газета, № 32, 2006.
100. *Костромина Е.В.* Экономика авиакомпании в условиях рынка / М.: НОУ ВКШ "Авиабизнес", 2002. – 304 с.
101. *Кудрин Б.И.* Научно-технический прогресс и формирование техноценозов // ЭКО: Экономика и организация промышленного производства, № 8, 1980, С. 15−28.
102. *Кудрин Б.И.* Исследования технических систем как сообществ изделий – техноценозов // Системные исследования. Ежегодник – 1980. М., 1981, С. 236–254.
103. *Кузьменко М., Элькес А., Буров М.* Двигатель Д-30КУ-154: экологические проблемы и пути их решения // Аэрокосмический курьер, № 2, 2003, С. 24–26.
104. *Кулибанова В.В.* Развитие сервиса предприятия-изготовителя сложной техники на основе маркетинговой концепции / СПб.: СПбГИЭУ, 2006 – 190 с.
105. Мировые авиалинии теряют высоту // сайт www.aviaport.ru, 09.02.2006.
106. *Молчанова А.А., Клочков В.В.* Методы прогнозирования спроса на конвертацию пассажирских самолетов в грузовые // Труды 51-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук»: часть VI. Аэромеханика и летательная техника. М.: МФТИ, 2008, С. 130–132.
107. *Москалев Д.А.* Неясное будущее «транспорта будущего» // Независимое военное обозрение, 15.02.2008.
108. *Никитина М.А., Клочков В.В.* Задача оптимизации модельного ряда перспективных БПЛА патрульного назначения // Труды 51-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук»: часть VI. Аэромеханика и летательная техника. М.: МФТИ, 2008, С. 132–134.
109. *Николаев И., Калинин А., Ефимов С., Марушкина Е.* Сколько тратит Россия // Ведомости, № 14 (1295), 28.01.2005.
110. Новые прогнозы гигантов самолетостроения // сайт www.aviaport.ru, 26.11.2002.
111. Отчет о результатах тематической проверки законности приватизации, эффективности управления и государственной поддержки предпри-

ятий авиационной промышленности в постприватизационный период (1992-1999 гг.) // Бюллетень Счетной Палаты РФ № 8 (32), 2000.
112. *Павлова Н.* На чем будут летать в России в XXI веке // Известия, 16.08.2006.
113. *Палкин В.А., Бакалеев В.П.* Стратегия ведущих зарубежных авиадвигателестроительных компаний в XXI веке / М.: ЦИАМ, 2002 – 45 с.
114. *Пантелеев О.* Европа вводит плату за воздух, который испортят авиакомпании // сайт www.aviaport.ru, 24.08.2009.
115. *Пиявский С.А., Брусов В.С., Хвилов Е.А.* Оптимизация параметров многоцелевых летательных аппаратов / М.: Машиностроение, 1974.
116. *Поединок В.М.* Алгоритм дозаправки неманевренного самолета в воздухе в автоматическом режиме // Ученые записки ЦАГИ, 2004, т. XXXVI, №1–2.
117. *Позамантир Э.И.* Модели спроса на перевозки / в кн.: Экономико-математический энциклопедический словарь. М.: Большая Российская Энциклопедия, 2003, С. 506–508.
118. *Позняков П., Монахов А.П.* Будет ли “цивилизована” российская авиация? // Вестник воздушного флота, №1–2, 2002.
119. *Портер М.* Конкуренция / М.: Вильямс, 2003 – 496 с.
120. Проценты похоронят Эрбас и Боинг // сайт www.aviaport.ru, 21.10.2004.
121. *Птичкин С.* Бомбардировщик для пассажиров // Российская газета, 26.01.2006.
122. *Разин А.Ф.*, *Родинов В.Б.*, *Васильев А.В.* Экономические аспекты применения композитных материалов в конструкции планера пассажирского самолета // Технология машиностроения, № 3, 2005, с. 5-8.
123. *Родинов В.Б.*, *Васильев А.В.* Обобщенный критерий стоимости композитных материалов в авиационных конструкциях // Технология машиностроения, № 8, 2006, С. 92–98.
124. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / под ред. проф. А.Г. Братухина. М.: НИЦ АСК, 2008 – 608 с.
125. *Рыжкин С.* Самолетизация льгот // Коммерсант, 23.01.2005.
126. Рынок российской гражданской авиационной техники в условиях дефицита средств эксплуатирующих организаций на ее закупку (состояние и прогноз) // научно-технический отчет НИИ экономики авиационной промышленности. М.: НИИ ЭАП, 1999.
127. *Самойлов В.И., Бородин М.А., Самойлов И.А., Лесничий И.В.* Прогнозирование развития российского авиарынка // в сб. научных трудов ГосНИИ ГА (юбилейный выпуск №1) – М.: ГосНИИ ГА, 2003.
128. *Самойлов В.И.* Разработка системы оценки конкурентоспособности пассажирских самолетов на стадии создания // автореферат дисс. канд. экон. наук, 08.00.05., М., МАИ, 2006 – 24 с.

129. *Сергеева И.А.* Разработка методики оценки экономических результатов от внедрения мероприятий по унификации авиационной техники и технологий // в кн.: “Организация и управление производством в оборонной промышленности”. М.: МАИ, 2004, С. 63–66.
130. *Синицкий А.* Новые флагманы // Авиатранспортное обозрение, № 60, 2005.
131. *Скибин В., Волков С.* Выбросы вредных веществ от авиационных двигателей // Аэрокосмический курьер, № 2, 2003, С. 18–19.
132. *Страдомский О.* Прогноз ужесточения ограничений на полеты // Аэрокосмический курьер, № 2, 2003, С. 20–21.
133. *Страдомский О., Самойлов И.* Жизнь проверяет прогнозы // Авиатранспортное обозрение, № 45, март-апрель, 2003.
134. *Страдомский О., Самойлов И.* Сколько самолетов потребуется авиакомпаниям через 10 лет // Авиатранспортное обозрение, № 47, июль-август, 2003.
135. Стратегия развития российской авиационной промышленности до 2015 года // сайт www.minprom.gov.ru.
136. *Торенбик Э.* Проектирование дозвуковых самолетов / М.: Машиностроение, 1983 – 648 с.
137. *Тренев Н.Н.* Предприятие и его структура: анализ, диагностика, оздоровление / М.: Приор, 2002. – 240 с.
138. *Удалов К.Г., Комиссаров Д.С.* Самолет Боинг – 747 / М.: АВИКО ПРЕСС, 1994 – 96 с.
139. *Федоров Б.Г.* Экономико-экологические аспекты выбросов углекислого газа в атмосферу // Проблемы прогнозирования, № 5, 2004, С. 86–101.
140. *Федоров Б.Г.* Посткиотская экономика России // Проблемы прогнозирования, № 4, 2007, с. 74-83.
141. *Фетисов А.* Сравнение эксплуатационной экономики Ил-96-300 и Boeing-767-300 на опыте «Аэрофлота» // Авиатранспортное обозрение, № 4, 2006, С. 26–29.
142. *Фетисов М.* Кандидаты на вылет // приложение к газете «Коммерсант», 28.11.2006.
143. *Хвостик Е.* Airbus пошел на снижение // газета “Коммерсант”, 11.07.2006.
144. ЦАГИ – основные этапы научной деятельности, 1968-1993 / М.: Наука, Физматлит, 1996 – 57 6с.
145. *Цветков В.А.* Авиационная промышленность: основные направления развития // статья из цикла: *Цветков В.А.* Состояние российского промышленности в разрезе общемировых тенденций развития, 2007. Web-публикация: http://www.cemi.rssi.ru/mei/articles/zvet-head07-0.htm
146. *Шевяков А.Ю., Жаромский В.С., Сопцов В.В.* Социально-экономическое неравенство и бедность: состояние и пути снижения масштабов // Экономическая наука современной России, № 3, 2007, С. 62–74.

147. Экономико-математический энциклопедический словарь / М.: Большая Российская Энциклопедия, 2003 – 688 с.
148. Энциклопедия «Авиация» / М.: Большая Российская Энциклопедия, 1994 – 736 с.
149. Airbus A-340-600 выполнил первый пассажирский рейс на синтетическом топливе // сайт www.aviaport.ru, 13.10.2009.
150. Aircraft Engine and Engine Parts Manufacturing: 2002 / in: 2002 Economic Census. Manufacturing. Industry series. U.S. Census Bureau, 2004 – 47 p.
151. Aircraft Manufacturing: 2002 / in: 2002 Economic Census. Manufacturing. Industry series. U.S. Census Bureau, 2004 – 47 p.
152. *Alchian, A.* Reliability of Progress Curves in Airframe Production // Econometrica, vol. 31, № 4, 1963, pp. 679-694.
153. *Arthur Brian W.* Competing Technologies, Increasing Returns and Lock-in by Historical Events // Economic Journal, 1989, № 99, pp. 116-131.
154. *Ben-Akiva, M. and Lerman, S.M.* Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand / MIT Press, Cambridge, Mass., 1985.
155. *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.
156. *Bennington M.A., Visser K.D.* Aerial Refuelling Implications for Commercial Aviation // Journal of Aircraft, vol. 42, № 2, March – April 2005.
157. *Berry, S.* Estimating Discrete Choice Models of Product Differentiation // RAND Journal of Economics, vol. 25, No. 2, 1994, pp. 242-262.
158. *Blevins, D.R.* A Cost Model for Aircraft Justification // Business and Commercial Aviation, June, 1977.
159. Commercial Aircraft Design Characteristics – Trends and Growth Projections // International Industry Working Group, January 2007, 5th Edition – 60 p.
160. *Eddington R.* "British Airways" slams U.S. bankruptcy laws // Financial Times, 22 September, 2005.
161. *George, F.* How to Measure the Value of Executive Time // Business and Commercial Aviation, June, 1986.
162. *Gholz, E.* Getting Subsidies Right: U.S. Government Support to the Commercial Aircraft Industry // MIT Centre for International Studies, Cambridge, MA, 1997 – 47 p.
163. *Herring, H.*. 2008. «Rebound effect» // in: Encyclopedia of Earth. Eds. Cutler J. Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). Web-публикация: <http://www.eoearth.org/article/Rebound_effect>
164. *Irwin, D.A. and Pavcnik, N.* Airbus versus Boeing Revisited: International Competition in the Aircraft Market // Journal of International Economics, vol. 64, Issue 2, Dec., 2004, pp. 223-245.
165. National Plan for Aeronautics Research and Development and Related Infrastructure // сайт www.nasa.gov, December 2007 – 56 p.

166. Other Aircraft Parts and Auxiliary Equipment Manufacturing: 2002 / in: 2002 Economic Census. Manufacturing. Industry series. U.S. Census Bureau, 2004 – 47 p.
167. *Porter M.E., Van den Linden C.* Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship // Journal of Economic Perspectives, 9, № 4, 1995.
168. *Toupet, O., Mark, G. and Freuler, P.* Design and Optimization of UAV Platform // AIAA 2005-2283.
169. *Wells, A.T. and Chadbourne, B.D.* General Aviation Marketing and Management / Krieger Publishing Company, 1994.
170. World Energy Assessment. UN Development Program / UN Department of Economic and Social Affairs. World Energy Council, New York, 2000 – 508 p.
171. *Wright, T.P.* Factors Affecting the Cost of Airplanes // Journal of Aeronautical Sciences, vol. 3, February 1936, pp. 122-128.
172. www.ach.gov.ru
173. www.aeroflot.ru
174. www.airbus.com
175. www.aviaport.ru
176. www.avid.ru
177. www.boeing.com
178. www.faa.gov
179. www.gazprom.ru
180. www.gks.ru
181. www.iai.co.il
182. www.iata.org
183. www.icao.org
184. www.minprom.gov.ru
185. www.mintrans.ru
186. www.nasa.gov
187. www.npo-saturn.ru
188. www.rzd.ru
189. www.salut.ru
190. www.sukhoi.superjet100.com
191. www.tdtoap.ru
192. www.uacrussia.ru
193. www.uav.ru

## БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает глубокую благодарность:

- своим соавторам по ряду работ, обобщенных в данной монографии – студентам, аспирантам и выпускникам Московского физико-технического института Ирине Владимировне Горшковой, Сергею Александровичу Гривскому, Тимуру Мунировичу Гусманову, Наталье Викторовне Ивановой, Анастасии Ивановне Игнатьевой, Юрию Евгеньевичу Кондратову, Анне Александровне Молчановой, Марии Вадимовне Нижник, Марии Александровне Никитиной, Анне Константиновне Никитовой, Татьяне Ивановне Поповой, Анастасии Леонидовне Русановой, Александре Александровне Шкадовой;
- Андрею Викторовичу Шустову и Сергею Владимировичу Серохвостову, заведующему и заместителю заведующего кафедрой Летательной техники Московского физико-технического института в 2001-2009 гг., при активной поддержке которых на кафедре возникло научное направление «Экономический анализ перспектив развития авиации»;
- профессорам Александру Михайловичу Баткову и Леониду Евгеньевичу Варшавскому – за высокую честь, которую они оказали автору, согласившись рецензировать эту книгу, а также за неформальное, заинтересованное прочтение рукописи и ценные критические замечания;
- ученым и специалистам отрасли, общение с которыми помогло сформировать авторскую позицию по изучаемой проблеме – Владимиру Ивановичу Бабкину, Борису Хаимовичу Давидсону, Андрею Игоревичу Дунаевскому, Алексею Владимировичу Ждановскому, Вячеславу Дмитриевичу Калачанову, Александру Владимировичу Климину, Андрею Валентиновичу Смирнову;
- Татьяне Николаевне Данилиной и Дмитрию Геннадьевичу Сырейщикову – за помощь в подготовке рукописи к изданию.