

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОСВОЕНИЯ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЕТОВ

КЛОЧКОВ Владислав Валерьевич, профессор Московского авиационного института (государственного технического университета), д.э.н., доцент.
E-mail: vlad_klochkov@mail.ru

KLOCHKOV Vladislav V., D.Sci, Professor of Moscow Aviation Institute (State Technical University).
E-mail: vlad_klochkov@mail.ru

РУСАНОВА Анастасия Леонидовна, научный сотрудник Корпорации «ИРКУТ» в составе ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация», аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета).
E-mail: nasty-ona@kwinto.ru

RUSANOVA Anastasia L., a Research Fellow of «Irkut» Corporation within JSC «United Aircraft Building Corporation» and a Postgraduate Student of Moscow Aviation Institute (State Technical University).
E-mail: nasty-ona@kwinto.ru

МАКСИМОВСКИЙ Виктор Игоревич, научный сотрудник Корпорации «ИРКУТ» в составе ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация», аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета).
E-mail: kaf506@mai.ru

MAXIMOVSKY Victor I., a Research Fellow of «Irkut» Corporation within JSC «United Aircraft Building Corporation» and a Postgraduate Student of Moscow Aviation Institute (State Technical University).
E-mail: kaf506@mai.ru

Рассмотрена модель конкуренции на рынке гражданских самолетов, в которой запаздывание выхода изделия на рынок компенсируется его качественным превосходством над продукцией лидера. Предложены методы оптимизации инновационной политики авиастроительных компаний.

The model of civil aircraft market competition is considered, in which product's market entry time lag is compensated by better quality than leader suggests. The aircraft companies' innovation policy optimization methods are suggested.

Ключевые слова: рынок гражданской авиатехники, конкуренция, время выхода на рынок.

Key words: civil aircraft market, competition, market entry time.

Введение

Стратегия инновационного развития российского гражданского авиастроения предусматривает создание и освоение серийного производства ряда перспективных типов гражданских самолетов и авиадвигателей. И если региональный самолет Sukhoi SuperJet 100 уже проходит испытания, то, например, среднемагистральный самолет МС-21 еще находится в стадии проектирования, а его выход на рынок намечен на 2015—2016 гг. [10]. Все новые отечественные проекты ориентированы на мировой рынок гражданской авиатехники, а внутренний российский рынок открыт для зарубежных

производителей. Поэтому реализация производственных планов отрасли требует обеспечения конкурентоспособности перспективных изделий в присутствии зарубежных аналогов. Для МС-21 в качестве таковых рассматриваются, прежде всего, самолеты семейства А-319/320/321 западноевропейского консорциума Airbus Industry и самолеты семейства Boeing-737-700/800/900 американской компании Boeing. После 2020 г. мировые лидеры в области гражданского самолетостроения планируют вывести на рынок новые модели соответствующего класса на смену вышеупомянутым изделиям, разработанным в 1980—1990-х гг. Весьма вероятно, что

уровень технико-экономических характеристик новых зарубежных изделий будет выше, чем уровень, заложенный в проект МС-21. Однако разработчики отечественного самолета рассчитывают на временное преимущество своего изделия, позиционируя МС-21 как *переходный тип* воздушных судов. Даже если новейшие разработки зарубежных конкурентов эффективнее, вполне возможно, что ряд авиакомпаний не пожелает (или не сможет) ждать их появления на рынке и сделает выбор в пользу нового российского продукта. В то же время гражданские самолеты являются изделиями с чрезвычайно длительным сроком службы (порядка 20 и более лет), а подавляющая часть стоимости их жизненного цикла приходится именно на этап эксплуатации. Поэтому решающую роль в выборе авиакомпаний могут сыграть меньшие, по сравнению с переходным типом, эксплуатационные затраты перспективных зарубежных изделий. Необходим научно обоснованный ответ на важнейший вопрос инновационного менеджмента: что важнее — преимущество во времени выхода продукции на рынок или в уровне технико-экономического совершенства? В работах отечественных ученых и специалистов [2, 6] особое внимание уделяется сравнению технико-экономических характеристик новых российских самолетов и их зарубежных аналогов, но в статической ситуации, без учета времени их появления на рынке. В работах ряда зарубежных ученых [9], напротив, рассматриваются динамические модели конкуренции на рынке гражданской авиатехники, однако в них не учитываются процессы инновационного развития отрасли, практически не учитываются возможности существенного улучшения технико-экономических характеристик изделий. На поведение авиакомпаний оказывают влияние как временные, так и качественные факторы, поэтому необходимо одновременно формировать требования как к технико-экономическим показателям перспективной продукции, так и к срокам ее вывода на рынки. В данной работе предлагается методологический аппарат для экономического обоснования таких требований.

Влияние времени выхода на рынок нового типа авиатехники на его конкурентоспособность

Формализуем описанную выше ситуацию следующим образом. Предположим, что в настоящее время на рынке представлено i -е поколение гражданской авиатехники, которое широко распространено в парках авиакомпаний. Также известно, что в году T^k на рынке появится принципиально новое, k -е поколение изделий, обладающее лучшими технико-экономическими характеристиками. После-

дние можно представить в следующем виде. Пусть суммарная стоимость летного часа $c_{\text{час}}$ складывается из амортизации $c_{\text{ам}}$ и суммарных операционных затрат $c_{\text{опер}}$, включающих в себя затраты на авиатопливо, техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), оплату труда экипажа, аэропортовые сборы и т.д., подробнее см. [5]:

$$c_{\text{час}} = c_{\text{ам}} + c_{\text{опер}}.$$

Предположим, что известны операционные затраты изделий современного и нового поколений $c_{\text{опер}}^i$ и $c_{\text{опер}}^k$, а также цена P^k и ресурс τ^k изделий нового поколения, что позволяет оценить амортизационные отчисления в расчете на летный час:

$$c_{\text{ам}}^k = \frac{P^k}{\tau^k}.$$

Рассмотрим переходный тип авиатехники, обозначаемый индексом j . Он обладает промежуточными технико-экономическими характеристиками, превосходя по экономической эффективности нынешнее поколение, но уступая новому:

$$c_{\text{час}}^k < c_{\text{час}}^j < c_{\text{час}}^i; \quad c_{\text{опер}}^k < c_{\text{опер}}^j < c_{\text{опер}}^i.$$

В какой самый поздний срок $T^j < T^k$ переходный тип изделий должен появиться на рынке, чтобы он пользовался спросом у авиакомпаний? Рассмотрим процесс принятия авиакомпанией решений о приобретении новых воздушных судов в период после появления на рынке изделий переходного типа, т.е. при $T \geq T^j$. Для простоты предположим, что среднегодовой налет на одно воздушное судно составляет η летных часов в год и не изменяется в течение периода моделирования (хотя в более корректных расчетах можно учесть изменение среднегодового налета со временем). Предположим, что на момент $T \in [T^j; T^k)$ в парке имеется современное ВС поколения i , обладающее остатком ресурса $\delta\tau^i$ (очевидно, меньшим, чем ресурс изделий переходного типа: $\delta\tau^i < \tau^j$), позволяющим эксплуатировать его, по меньшей мере, до появления принципиально нового поколения k (а возможно, и далее), т.е. $T + \frac{\delta\tau^i}{\eta} \geq T^k$. В этот же момент можно приобрести ВС переходного типа j . Будем считать, что период между возможной покупкой ВС переходного типа и появлением на рынке нового

поколения изделий короче, чем календарный срок службы переходного типа ВС: $T^k - T < \frac{\tau^j}{\eta}$. В про-

тивном случае целесообразно приобрести ВС переходного типа и эксплуатировать их, по меньшей мере, до появления принципиально нового типа изделий. Тогда, в общем случае, возможны следующие четыре альтернативы:

а) приобрести ВС переходного типа j и эксплуатировать его до полной выработки ресурса (которая, по условию, произойдет позже выхода на рынок изделий нового типа, т.е. уже после T^k);

б) приобрести ВС переходного типа j и списать его, несмотря на наличие остатка ресурса, при появлении на рынке изделий нового типа в момент T^k ;

в) эксплуатировать ВС типа i до появления на рынке изделий принципиально нового типа в момент T^k и в этот момент приобрести изделие нового типа k , несмотря на наличие остатка ресурса ВС i -го типа;

г) эксплуатировать ВС типа i до полной выработки ресурса в момент $T + \frac{\delta\tau^i}{\eta}$, далее заменяя его

на изделие нового типа k (что возможно, поскольку $T + \frac{\delta\tau^i}{\eta} \geq T^k$).

Наибольший интерес в данной работе представляют условия, при которых предпочтительными будут стратегии (а) и (б), соответствующие приобретению ВС переходного типа. Даже если изделие переходного типа будет приобретено, после выработки ресурса оно подлежит замене на ВС нового поколения, поскольку последние более эффективны. Таким образом, для сопоставимости альтернативных стратегий обновления парка ВС необходимо и достаточно рассмотреть период вплоть до выработки ресурса ВС переходного типа, т.е. период моделирования начнется в текущий момент T и

закончится в момент $T + \frac{\tau^j}{\eta}$. Необходимо сопоставить суммы затрат, понесенных авиакомпанией в каждом случае, за период моделирования

$\left[T; T + \frac{\tau^j}{\eta} \right]$. На рис. 1—4 наглядно изображены потоки затрат, соответствующие описанным стратегиям. Горизонтальными линиями изображены по-

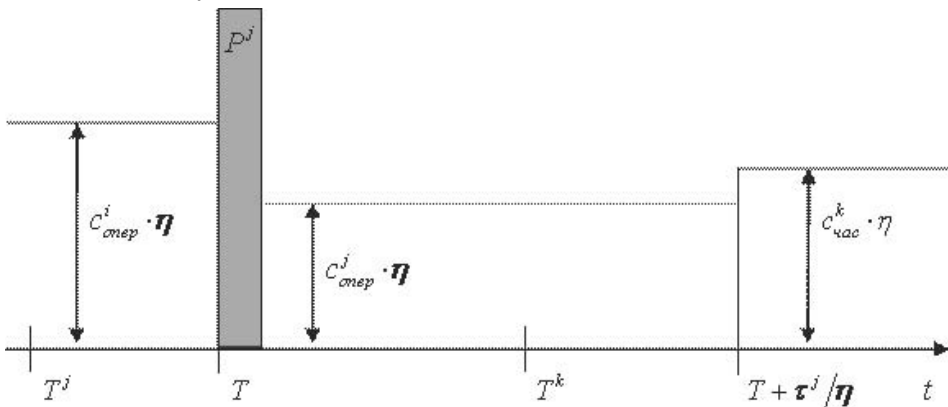


Рис. 1. Потоки затрат авиакомпании при стратегии (а)

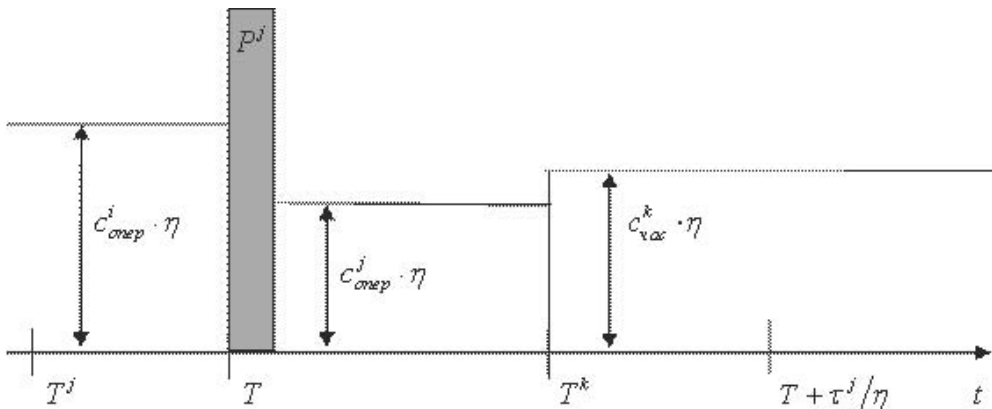


Рис. 2. Потоки затрат авиакомпании при стратегии (б)

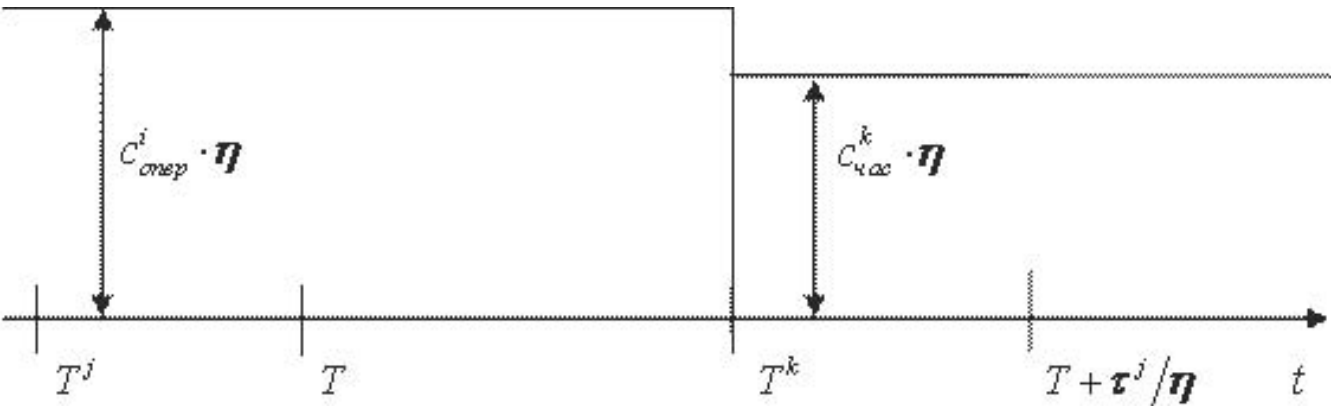


Рис. 3. Потоки затрат авиакомпании при стратегии (в)

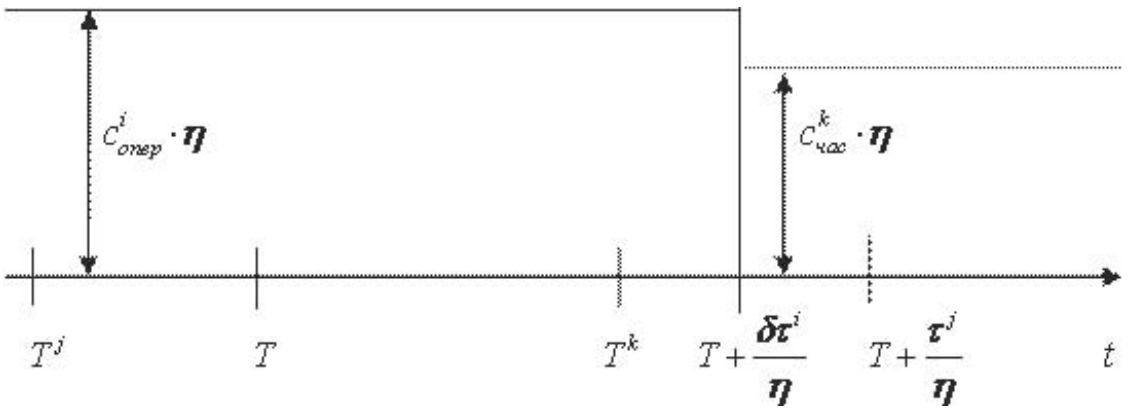


Рис. 4. Потоки затрат авиакомпании при стратегии (г)

токи регулярных платежей, вертикальными заштрихованными прямоугольниками — единовременные платежи.

Необходимо пояснить некоторые допущения, содержащиеся в этих схематичных графиках. Во-первых, мы считаем, что авиакомпании, приобретающая изделия переходного типа j , уплачивают их полную стоимость и в случае досрочной замены изделий на новые по причине морального устаревания не смогут вернуть даже часть вложенных средств, поскольку в масштабах отрасли не найдется желающих приобрести морально устаревшие изделия на вторичном рынке. Поэтому цена изделий переходного типа рассматривается как единовременный платеж. Во-вторых, изделия нового поколения k будут эксплуатироваться и за пределами периода моделирования. Поэтому единовременные затраты на их приобретение распределяются равномерно на весь срок их службы и в пределах периода моделирования выражаются потоком амортизационных

отчислений $c_{ам}^k = \frac{P^k}{\tau^k}$. Поэтому поток затрат, связанных с приобретением и эксплуатацией самолетов нового типа, равен $c_{опер}^k + c_{ам}^k = c_{час}^k$.

Суммы затрат за период $\left[T; T + \frac{\tau^j}{\eta} \right]$, соответствующих стратегиям (а-г), выражаются следующими формулами:

$$C_a = P^j + c_{опер}^j \cdot \tau^j;$$

$$C_b = P^j + c_{опер}^j \cdot \eta \cdot (T^k - T) + \left(\frac{P^k}{\tau^k} + c_{опер}^k \right) \cdot \eta \cdot \left(T + \frac{\tau^j}{\eta} - T^k \right);$$

$$C_c = c_{опер}^j \cdot \eta \cdot (T^k - T) + \left(\frac{P^k}{\tau^k} + c_{опер}^k \right) \cdot \eta \cdot \left(T + \frac{\tau^j}{\eta} - T^k \right);$$

$$C_d = c_{опер}^j \cdot \delta \tau^i + \left(\frac{P^k}{\tau^k} + c_{опер}^k \right) \cdot (\tau^j - \delta \tau^i).$$

Сравнение соответствующих сумм затрат показывает, что стратегия (а) будет предпочтительнее, чем (б), т.е. приобретенное изделие переходного типа (если будет принято решение о его покупке)

выгоднее эксплуатировать до полной выработки ресурса, чем досрочно заменить его на ВС принципиально нового типа, при

$$\left[c_{\text{опер}}^j - \left(\frac{P^k}{\tau^k} + c_{\text{опер}}^k \right) \right] \cdot [\tau^j - \eta \cdot (T^k - T)] < 0,$$

но $T^k - T < \frac{\tau^j}{\eta}$, поэтому необходимо и достаточно,

чтобы выполнялось условие

$$c_{\text{опер}}^j < \frac{P^k}{\tau^k} + c_{\text{опер}}^k = c_{\text{час}}^k \quad (1)$$

(это становится понятным при сравнении рис. 1 и 2). В противном случае при появлении на рынке изделий k -го типа авиакомпаниям будет выгодно немедленно приобрести их и заменить изделия переходного типа j , даже если они обладают остатком ресурса, т.е. последние морально устареют. В работе [3] такое превосходство изделий нового поколения предложено называть *прорывным*. Таким образом, чтобы приобретенные ВС переходного типа было выгодно эксплуатировать до полной выработки ресурса, самолеты k -го типа не должны обладать прорывным преимуществом перед изделиями j -го, переходного типа.

Стратегия (а) будет предпочтительнее, чем (в), при

$$\Delta T = T^k - T > \frac{P^j + (c_{\text{опер}}^j - c_{\text{час}}^k) \cdot \tau^j}{(c_{\text{опер}}^i - c_{\text{час}}^k) \cdot \eta} = \frac{c_{\text{час}}^j - c_{\text{час}}^k}{c_{\text{опер}}^i - c_{\text{час}}^k} \cdot \frac{\tau^j}{\eta}.$$

Поскольку по условию $c_{\text{час}}^j > c_{\text{час}}^k$, выражение в правой части полученного неравенства будет положительным лишь при условии $c_{\text{опер}}^i > c_{\text{час}}^k$, т.е. изделия принципиально нового, k -го типа обладают прорывным превосходством над ВС i -го типа. Но в этом случае стратегия (в) заведомо выгоднее стратегии (г), поэтому рассматривать последнюю нецелесообразно.

Отношение $\frac{\tau^j}{\eta}$ равно ожидаемому календарному сроку службы изделий переходного типа до полной выработки ресурса. Поскольку по условию

$$\Delta T = T^k - T \leq \frac{\tau^j}{\eta}, \text{ необходимо, чтобы отношение}$$

$\frac{c_{\text{час}}^j - c_{\text{час}}^k}{c_{\text{опер}}^i - c_{\text{час}}^k}$ было меньше 1. При положительных

числителе и знаменателе это означает, что $c_{\text{час}}^j < c_{\text{опер}}^i$. Но это и есть условие прорывного превосходства переходного, j -го типа изделий над современным, i -м. Таким образом, если новое поколение изделий зарубежных конкурентов является прорывным по отношению к предыдущему, тогда и переходный тип изделий должен обладать прорывным превосходством над современными зарубежными изделиями. Только в этом случае будет выгодным приобретение ВС переходного типа взамен современных самолетов, еще обладающих остатком ресурса.

Необходимо проанализировать зависимость требуемого опережения переходного типа изделий относительно новых изделий конкурентов ΔT от технико-экономических параметров конкурирующих изделий. При $c_{\text{час}}^j \rightarrow c_{\text{час}}^k$, $\Delta T \rightarrow 0$, т.е. чем ближе уровень технико-экономических характеристик переходного типа изделий к уровню принципиально новых изделий конкурентов, тем меньше необходимое временное преимущество, и наоборот.

Из полученного выражения неочевидно влияние ресурса изделий переходного типа τ^j . На первый взгляд, его повышение неблагоприятно для производителей переходного типа изделий, поскольку в выражении для ΔT значение τ^j находится в числителе. Однако если рассмотреть данное выражение в форме

$$\Delta T > \frac{P^j + (c_{\text{опер}}^j - c_{\text{час}}^k) \cdot \tau^j}{(c_{\text{опер}}^i - c_{\text{час}}^k) \cdot \eta} \quad (2)$$

и учесть, что $c_{\text{опер}}^j < c_{\text{час}}^k$ (в противном случае стратегия (б) предпочтительнее стратегии (а), и новые изделия конкурентов обладают прорывным преимуществом над ВС переходного типа), становится очевидным, что с ростом ресурса изделий переходного типа требуемое временное превосходство сокращается. Этого и следовало ожидать, поскольку повышение ресурса при фиксированной цене изделия означает снижение амортизационных затрат на летный час и стоимости летного часа.

Можно поставить и обратную задачу: определить уровень стоимости летного часа ВС переходного типа, необходимый для того, чтобы они пользовались спросом в определенный момент времени. Преобразуя формулу (2), получим следующее соотношение:

$$c_{\text{час}}^j < c_{\text{час}}^k + \Delta T \cdot \frac{\eta}{\tau^j} \cdot (c_{\text{опер}}^i - c_{\text{час}}^k). \quad (3)$$

Весьма удобно, что в полученном выражении могут использоваться не абсолютные значения эксплуатационных затрат, а относительные. Достаточно лишь указать, что стоимость летного часа ВС переходного типа на $X\%$ ниже, чем для современных самолетов, а новое поколение изделий конкурентов обеспечивает на $Y\%$ меньшие затраты на летный час. Разделим формулу (3) на часовые операционные затраты современных самолетов:

$$\frac{c_{\text{час}}^j}{c_{\text{опер}}^i} < \frac{c_{\text{час}}^k}{c_{\text{опер}}^i} + \Delta T \cdot \frac{\eta}{\tau^j} \cdot \left(1 - \frac{c_{\text{час}}^k}{c_{\text{опер}}^i}\right). \quad (4)$$

Рассмотрим следующий реалистичный пример.

Пусть $\eta = 3000$ л.ч/г; $\tau^j = 60000$ л.ч. На рис. 5 изображены графики зависимости от времени потребного сокращения стоимости летного часа (в % от уровня операционных затрат современных ВС), достигнутого для самолетов переходного типа, если известно, что принципиально новые изделия зарубежных конкурентов выйдут на рынок в 2020 и 2025 гг. и будут обладать на 25% и на 50% более низкой стоимостью летного часа, чем современные самолеты аналогичного класса.

Из рис. 5 видно, что если, например, лидерам мирового авиастроения удастся в 2025 г. вывести на рынок новое поколение самолетов, обеспечивающее вдвое меньший уровень эксплуатационных затрат по сравнению с современными изделиями, то российским авиастроителям удастся в 2015 г. успешно реализовать воздушные суда переходного типа, обеспечивающие снижение стоимости летного часа лишь на четверть, и т.д.

Прогнозирование объемов выпуска ВС переходного типа и коммерческой эффективности проекта его создания

Анализ формулы (2) показывает, что авиакомпания будут приобретать для досрочной замены современных самолетов ВС переходного типа с определенным уровнем стоимости летного часа $c_{\text{час}}^j$

в период $T \in [T^j; T_{\text{кр}})$, где критический момент окончания периода продаж определяется следующим образом:

$$T_{\text{кр}} = T^k - \frac{c_{\text{час}}^j - c_{\text{час}}^k}{c_{\text{опер}}^i - c_{\text{час}}^k} \cdot \frac{\tau^j}{\eta}. \quad (5)$$

Итак, для обеспечения конкурентоспособности переходного типа должно выполняться следующее условие: чем меньше опережение относительно зарубежных изделий нового поколения, тем ближе должен быть уровень технико-экономических характеристик переходного изделия к уровню конкурентов. Однако это правило и формулы (1)—(5) соответствуют случаю, когда и переходный тип изделий, и новое поколение продукции конкурентов обладают прорывным превосходством над современными воздушными судами, т.е. $c_{\text{опер}}^i > c_{\text{час}}^k$. Но, как показано в работе [4], в обозримом будущем создание прорывных типов гражданских самолетов затруднено. В силу исчерпания возможностей совершенствования традиционных конструкций и технологий, с одной стороны, замедляется сокращение

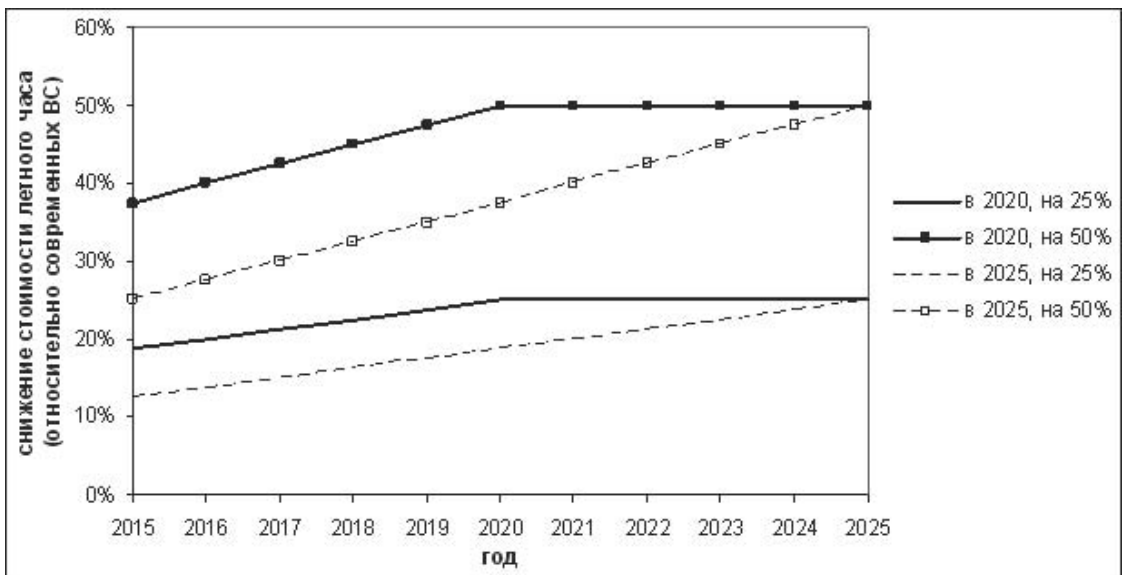


Рис. 5. Целевой уровень эксплуатационных затрат воздушных судов переходного типа в зависимости от сроков появления и эксплуатационных затрат нового поколения самолетов

операционных затрат, а с другой — оно достигается ценой прогрессирующего удорожания новых изделий, т.е. выполнение неравенства $c_{опер}^k + c_{ам}^k < c_{опер}^i$ все менее вероятно.

Возвращаясь к сравнению стратегий (а) и (б), отметим, что стратегия (б) окажется наилучшей лишь в том случае, если каждое новое поколение авиатехники будет обладать прорывным преимуществом перед предыдущим. В этом случае реализуется так называемая *цепная смена поколений* [4]: каждое поколение изделий морально устареет при появлении следующего и списывается досрочно. Однако такой режим совершенствования технологий нехарактерен для современного этапа развития авиационной техники, поэтому сценарий (б) еще менее вероятен, чем (а). И если переходный тип ВС и новое поколение изделий зарубежных конкурентов будут обладать прорывным превосходством над современными самолетами, для формирования требований к характеристикам переходного типа авиатехники и срокам его выхода на рынок можно пользоваться формулами (1)–(5).

Если же даже новое поколение зарубежных самолетов не будет обладать прорывным превосходством над нынешним, переходный тип ВС тем более не обеспечивает такого превосходства, и современные самолеты, обладающие остатком ресурса, будут эксплуатироваться до его полной выработки. В этом случае можно рассчитывать на сбыт ВС переходного типа лишь тем авиакомпаниям, которые списывают современные ВС по причине выработки ресурса. Однако нельзя считать этот сценарий заведомо неблагоприятным. Для замены физически устаревшей авиатехники самолеты переходного типа будут приобретаться на протяжении всего периода $T \in [T^j; T^k)$ при любом, даже самом малом, уровне превосходства над современными зарубежными аналогами, т.е. при невозможности создания прорывных типов гражданской авиатехники (что характерно для современного этапа развития отрасли) временная конкуренция приобретает первостепенное значение, большее, чем технико-экономическое совершенство изделий.

Итак, ВС переходного, j -го типа, будут пользоваться спросом:

- для замены современных ВС i -го типа, обладающих остатком ресурса — при условии $c_{час}^j < c_{опер}^i$

в период $T \in \left[T^j; T^k - \frac{c_{час}^j - c_{час}^k}{c_{опер}^i - c_{час}^k} \cdot \frac{\tau^j}{\eta} \right)$;

- для замены современных ВС i -го типа, выработавших свой ресурс в период $T \in [T^j; T^k)$.

Оценить фактический объем спроса авиакомпаний на ВС j -го типа можно только на основе детального анализа потребности в воздушных судах для удовлетворения спроса на авиаперевозки, динамики списания воздушных судов, возрастной структуры парка и т.д. Необходимые расчеты реализуются в рамках концепции *баланса провозных мощностей* (БПМ) [3]. На основе данных о производительности воздушного судна и прогноза пассажирооборота оценивается будущая потребность в воздушных судах $N_{необх}(T+1)$. Далее прогнозируется количество ВС, списанных по причине выработки ресурса $\Delta N_{спис}(T)$, и вычисляется количество новых ВС, которые необходимо приобрести к будущему году:

$$q(T) = \begin{cases} N_{необх}(T+1) - N(T) + \Delta N_{спис}(T) & \text{при } N_{необх}(T+1) > N(T) - \Delta N_{спис}(T); \\ 0 & \text{при } N_{необх}(T+1) \leq N(T) - \Delta N_{спис}(T), \\ T \in [T^j; T^k). \end{cases} \quad (6)$$

Если же выполняется условие $c_{час}^j < c_{опер}^i$, т.е. самолет переходного типа является прорывным по сравнению с нынешним поколением, все современные самолеты становятся морально устаревшими, и авиакомпании теоретически заинтересованы в полной замене имеющегося парка, безотносительно к остатку ресурса. Однако в этом случае объем выпуска, как правило, ограничивается мощностью авиастроительных предприятий:

$$q(T) = V(T), \quad T \in [T^j; T_{кр}),$$

поскольку $V(T) \ll N(T)$.

Суммарный объем выпуска изделий переходного типа в описанных случаях выражается следующими формулами:

$$Q^j = \sum_{T=T^j}^{T=T_{кр}-1} q(T),$$

где $q(T)$ определяется по формуле (6), или

$$Q^j = \sum_{T=T^j}^{T=T_{кр}-1} V(T) \quad \text{при } c_{час}^j < c_{опер}^i,$$

где $T_{кр} = T^k - \frac{c_{час}^j - c_{час}^k}{c_{опер}^i - c_{час}^k} \cdot \frac{\tau^j}{\eta}$.

Можно отметить две группы факторов, способствующих повышению спроса на ВС переходного типа, по сравнению с полученными выше оценками.

Во-первых, поскольку мощности авиастроительных предприятий ограничены, массовый спрос на воздушные суда того или иного типа не будет удовлетворен мгновенно, с появлением изделий данного типа на рынке. В реальности образуется очередь авиакомпаний, желающих приобрести ВС новых типов, и продолжительность ожидания поставки может составлять несколько лет. Поэтому, строго говоря, в вышеприведенных моделях следует подразумевать под T^j и T^k не моменты начала серийного производства соответствующих типов ВС, а сроки, в которые авиакомпания может рассчитывать на исполнение своих заказов, с учетом возможной очереди. Учет данного фактора существенно усложняет расчеты (тем более что уровень производственных мощностей является управляющим параметром для авиастроительных компаний, и необходимо рассматривать игровое взаимодействие ряда активных участников). Однако качественное влияние наличия очереди на поставку ВС можно предсказать: поскольку сроки поставки принципиально новых зарубежных изделий смещаются, повышается привлекательность изделий переходного типа.

Во-вторых, все предлагаемые в данной работе модели являются детерминированными, в них рассматривается принятие решений при наличии полной и достоверной информации. Предполагается, что авиакомпании, принимая решения о приобретении воздушных судов, достоверно знают, в какие будущие моменты времени будут выходить на рынок перспективные изделия и каким уровнем технико-экономических характеристик они будут обладать. В реальности, в силу значительных технических рисков, такой информацией не располагают даже сами разработчики и производители авиатехники. Учет неопределенности будущего делает более предпочтительным в период $T^j \leq T < T^k$ приобретение ВС переходного типа, поскольку они, в отличие от перспективных изделий k -го типа, уже представлены на рынке, их цена и технико-экономические характеристики достоверно известны.

Зная суммарный объем выпуска ВС переходного типа Q^j и их цену P^j , можно оценить выручку, суммарные затраты (включая начальные инвестиции в НИОКР и подготовку серийного производства) и в конечном счете результирующие финансовые показатели эффективности проекта — прибыль, рентабельность, чистую текущую стоимость и т.п.

Выручка, затраты и прибыль оцениваются следующим образом:

$$R = P^j \cdot Q^j; \quad TC = FC + VC; \quad \Pi = R - TC,$$

где FC — постоянные затраты, не зависящие от объема выпуска; VC — переменные затраты. К первым относятся, прежде всего, инвестиции в НИОКР и затраты на производственные мощности, а ко вторым — прямые затраты на оплату труда производственных рабочих и закупку сырья и материалов.

Суммарного объема продаж переходного типа авиатехники в относительно короткий «переходный» период от T^j до $T_{кр}$ или до T^k может оказаться недостаточно для обеспечения рентабельности его разработки и производства. Более того, такой сценарий может быть неприемлемым для отечественного авиастроения, даже если в этот период удастся (благодаря массовому списанию ВС предыдущего поколения и/или бурному росту рынка авиаперевозок) продать значительное количество ВС переходного типа. Насыщение массового спроса за короткий срок требует наличия значительных производственных мощностей и квалифицированных трудовых ресурсов, загрузка которых по завершении «переходного» периода не гарантирована. Создание производственного потенциала требует значительных инвестиций, пропорциональных уровню производственных мощностей. Что касается кадрового потенциала, его воспроизводство в авиастроении является чрезвычайно длительным и дорогостоящим. Таким образом, резкий спад выпуска по окончании краткого периода пиковой загрузки — исключительно неблагоприятный сценарий развития авиастроительного проекта. Поэтому чрезвычайно важно обеспечить возможность продолжения массовой продажи ВС переходного типа и после выхода на рынок принципиально новых зарубежных изделий.

В предшествующих рассуждениях определялись условия обеспечения конкурентоспособности изделий переходного типа только в «переходный» период от T^j до T^k или даже до $T_{кр} < T^k$. В рамках соответствующих моделей, после появления на рынке принципиально нового изделия конкурентов с более низкими эксплуатационными затратами, изделия переходного типа становятся заведомо неконкурентоспособными. Однако переходный тип может пользоваться спросом (по крайней мере части авиакомпаний, ранее успевших приобрести некоторое количество таких ВС) и после выхода на рынок принципиально нового поколения изделий, т.е. при $T \geq T^k$. Рассчитывать на реализацию такого

благоприятного сценария позволяют следующие факторы, не учтенные в простейших моделях выбора оптимального типа ВС:

1. Наличие в парках авиакомпаний значительного количества ВС переходного типа удешевит их ТОиР, материально-техническое снабжение и т.п.* Кроме того, и в эксплуатации действуют эффекты обучения, позволяющие сокращать затраты на ТОиР по мере накопления опыта. Благодаря этому фактору авиакомпании может оказаться выгоднее увеличить численность уже имеющегося парка изделий переходного типа, чем вводить в эксплуатацию новый тип воздушных судов.

2. Выигрыш во временной конкуренции и наличие значительного накопленного выпуска к моменту T^k позволят производителю ВС переходного типа снизить их себестоимость и цену благодаря эффекту обучения настолько, что стоимость летного часа j -го типа ВС окажется не выше, чем стоимость летного часа новых зарубежных изделий: $c^j \leq c^k$.

Заметим, что, если первый фактор действует лишь на так называемом *якорном рынке*, т.е. для тех авиакомпаний, которые уже приобрели ВС переходного типа, то второй может привлечь и новых покупателей отечественной продукции после появления на рынке новых зарубежных изделий. Однако заметим, что приведенные соображения касаются, в основном, затрат на ТОиР. Но если новые изделия зарубежных авиастроителей будут обладать значительным превосходством над переходным типом воздушных судов в части расхода топлива, этот фактор может стать решающим и приведет к прекращению продаж переходного типа ВС при $T \geq T^k$.

Некоторые рекомендации по выработке инновационной политики российского гражданского авиастроения

Уровень технико-экономических характеристик и время выхода новых изделий на рынок находятся в тесной взаимосвязи, поскольку НИОКР, направленные на совершенствование перспективной продукции, требуют значительного времени и средств [1]. Часто возникает дилемма: продолжить ли НИОКР, повышая уровень характеристик перспективного изделия, либо вывести на рынок «недоработанное» изделие, обеспечив временное преимущество над конкурентами? При наличии приведенных выше моделей и методов можно дать научно обоснованный ответ на этот вопрос. С формальной точки зрения можно поставить задачу совместной оптимизации целевого уровня характери-

стик перспективного типа изделий и времени его выхода на рынок (с учетом взаимосвязи этих факторов):

$$\Pi(c_{\text{час}}^j; c_{\text{опер}}^j; T^j) \rightarrow \max_{T^j} | c_{\text{час}}^j = f(T^j), c_{\text{опер}}^j = g(T^j),$$

где $\Pi = R - FC - VC$ — прибыль за весь период реализации проекта. Как показано выше, чем экономичнее ВС переходного типа и чем раньше они выйдут на рынок, тем больше объем продаж и выручка:

$$\frac{\partial R}{\partial c_{\text{час}}^j} < 0; \quad \frac{\partial R}{\partial c_{\text{опер}}^j} < 0; \quad \frac{\partial R}{\partial T^j} < 0.$$

Но повышение технико-экономического совершенства переходного типа изделий вступает в противоречие со стремлением продлить период его продаж:

$$\frac{\partial c_{\text{час}}^j}{\partial T^j} < 0; \quad \frac{\partial c_{\text{опер}}^j}{\partial T^j} < 0.$$

Кроме того, повышение экономичности перспективных изделий и форсирование НИОКР требует дополнительных затрат:

$$\frac{\partial FC}{\partial c_{\text{час}}^j} < 0; \quad \frac{\partial FC}{\partial c_{\text{опер}}^j} < 0; \quad \frac{\partial FC}{\partial T^j} < 0.$$

Эти противоречия и необходимо разрешить в процессе оптимизации. На практике эта оптимизационная задача сведется к выбору оптимального проекта из нескольких возможных вариантов, которые характеризуются результатами и длительностью. Различные проекты совершенствования перспективной продукции следует рассматривать как альтернативные, а не дополняющие друг друга. Это вызвано ограниченностью ресурсов, необходимых для проведения НИОКР и технологической подготовки производства — как финансовых, так и кадровых, интеллектуальных. Если эти ресурсы уже задействованы в проекте, предусматривающем быстрое достижение относительно невысокого уровня технико-экономических характеристик, то другие проекты, обещающие более высокий уровень характеристик в более поздние сроки, просто не могут быть реализованы, и наоборот.

Иногда существуют возможности дальнейшего эволюционного улучшения характеристик переходного типа изделий, позволяющего сохранить его конкурентоспособность и в долгосрочной перспективе, при $T \geq T^k$. Так, например, по объективным

* Подробнее о влиянии масштабов парка на эти составляющие эксплуатационных затрат см. в [2].

причинам, обусловленным фундаментальными закономерностями развития техники, в начале периода эксплуатации изделий нового типа они могут демонстрировать низкий уровень надежности (что негативно сказывается на эксплуатационных затратах, прежде всего на амортизации, затратах на ТОиР). С такими проблемами сталкиваются и ведущие зарубежные производители авиатехники [7] — важно лишь, чтобы «детские болезни» новых типов изделий не становились исключительно проблемами эксплуатирующих организаций. Поэтому в рыночной экономике производитель, заинтересованный в обеспечении своей конкурентоспособности, берет на себя решение соответствующих проблем. Но если резервы повышения надежности обычно весьма велики, то возможности улучшения прочих технико-экономических характеристик авиатехники после начала серийного производства сильно ограничены. Аэродинамическую компоновку, силовую схему планера и т.п. можно считать практически «замороженной» на весь период серийного производства. Так, например, известно, что можно снизить балансировочное сопротивление самолета (и таким образом повысить его аэродинамическое качество, сократить расход топлива и т.д.), если он не будет статически устойчивым в продольном канале [8]. Однако статически неустойчивая компоновка требует автоматической стабилизации движения и реализуется только благодаря *электро-дистанционным системам управления* (ЭДСУ) [8]. И если в соответствующий момент в распоряжении конструкторов нет надежной, отработанной ЭДСУ, позволяющей безопасно выполнять полеты с пассажирами, компоновка самолета должна быть выбрана в соответствии с требованием обеспечения статической устойчивости в продольном канале, и в дальнейшем ее вряд ли удастся изменить в пользу более эффективной.

Таким образом, решение о выводе на рынок продукта с определенным уровнем технико-экономических характеристик в определенный момент времени является чрезвычайно ответственным. Выше было показано, что при отсутствии возможности создания прорывных изделий важнее временное преимущество перед конкурентами, а не качественное превосходство (особенно если в ближайшем будущем ожидается массовые закупки воздушных судов для увеличения провозных мощностей и/или замены изделий, выработавших ресурс). В связи с этим может быть оправданным решение о выходе на рынок «начальной» версии перспективного среднемагистрального самолета МС-21 не с полимерно-композитной конструкцией крыла, а с традици-

онным, цельнометаллическим крылом (см. [10]), что, разумеется, сопряжено с некоторым ухудшением технико-экономических характеристик. Доводка полимерно-композитной конструкции и, что более существенно в сложившейся ситуации, освоение отечественной промышленностью соответствующих технологий серийного производства (а в данной сфере наблюдается значительное отставание от зарубежных конкурентов) потребуют продолжительного времени. Такая задержка создает угрозу потери якорного рынка, который может завоевать МС-21, «попадая в волну» массовой замены популярных зарубежных самолетов А-320 и Boeing-737 выпуска 1980—1990-х гг., выработавших свой ресурс. Важно не допустить дальнейшего снижения проектного уровня технико-экономического совершенства и дальнейшего затягивания сроков вывода нового самолета на рынок.

Выводы

На основании проведенного анализа показано, что, если воздушные суда переходного типа обладают прорывным преимуществом перед современными гражданскими самолетами, авиакомпания будут заинтересованы досрочно заменить всю имеющуюся авиатехнику на изделия переходного типа. Объемы их выпуска будут ограничены лишь мощностью авиастроительных предприятий. Однако, чем меньше опережение переходного типа самолетов относительно нового поколения изделий зарубежных конкурентов, тем ближе должны быть его технико-экономические характеристики к характеристикам самолетов нового поколения.

Если же изделия переходного типа не обладают прорывным преимуществом перед современными самолетами (что наиболее вероятно на современном этапе), они могут пользоваться спросом при любом значимом превосходстве над современными самолетами зарубежных производителей, однако будут приобретаться лишь для расширения парка или замены физически устаревшей авиатехники. То есть временное превосходство более значимо, чем качественное. На этом основании оправданно освоение выпуска начальной, упрощенной версии нового среднемагистрального самолета МС-21, если это позволит выйти на рынок существенно раньше зарубежных конкурентов и завоевать значительный якорный рынок. Его емкость и возможности совершенствования конструкции МС-21 определяют перспективы продажи этих самолетов после появления нового поколения зарубежных изделий.

Разработанный методологический аппарат может использоваться для экономического обоснова-

ния требований к характеристикам перспективной продукции и срокам ее выхода на рынок.

Библиографический список

1. Калачанов В.Д., Турищева М.А. Организация производства наукоёмкой продукции. — М.: Изд-во «Росавиакосмос», 2004.

2. Клочков В.В. Организация конкурентоспособного производства и послепродажного обслуживания авиадвигателей. — М.: Экономика и финансы, 2006.

3. Клочков В.В. Управление инновационным развитием гражданского авиастроения. — М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009.

4. Клочков В.В., Шкадова А.А., Ждановский А.В. Экономические аспекты морального устаревания техники // Технология машиностроения. 2008. № 11. С. 65—70.

5. Костромина Е.В. Экономика авиакомпании в условиях рынка. — М.: НОУ ВКШ «Авиабизнес», 2002.

6. Самойлов В.И. Разработка системы оценки конкурентоспособности пассажирских самолетов на стадии создания: Автореф. дисс. канд. экон. наук. — М.: МАИ, 2006.

7. Удалов К.Г., Комиссаров Д.С. Самолет Боинг — 747. — М.: АВИКО ПРЕСС, 1994.

8. Энциклопедия «Авиация». — М.: Большая российская энциклопедия, 1994.

9. 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.

10. www.uacrussia.ru