

УДК 001.895:330.341.1:338.45

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НАУКОЕМКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ФИНАНСИРОВАНИЕ ПРИКЛАДНОЙ НАУКИ

С. М. Рождественская, В. В. Клочков

Цель исследования — количественно оценить влияние экономического положения наукоемкой промышленности на финансирование прикладных исследований и разработок. Особое внимание уделяется влиянию на финансирование прикладной науки экономических проблем, которые испытывает индустрия: будут ли при этом затраты на разработку технологий сокращаться, или они могут и возрасти? Последнее возможно, поскольку при ужесточении условий работы отрасли повышается ее заинтересованность в новых технологиях, позволяющих ей адаптироваться к более жестким условиям. Однако по мере ухудшения экономического положения отрасли сокращаются и ее ресурсные возможности. Основные задачи: оценить экономически целесообразный уровень затрат на исследования и разработки в зависимости от параметров «жесткости» условий, в которых работает промышленность; оценить также возможности промышленности выделять средства на исследования и разработки в зависимости от ее экономического положения. В качестве примера рассмотрено гражданское авиастроение и влияние удорожания авиатоплива на экономическое положение отрасли и финансирование разработки технологий, позволяющих сократить расход топлива. Рассмотрена модель дуополии Курно на рынках воздушных судов, в которой конкуренты определяют оптимальные для себя затраты на исследования и разработки по критерию максимума чистой прибыли (т. е. операционной прибыли за вычетом указанных затрат). Учитывается нелинейный характер связи затрат на исследования и разработки и их результативности. Исходные данные для параметрических расчетов соответствуют реальным параметрам научно-технологического развития отрасли на современном этапе. С помощью предложенной модели определены условия, при которых ухудшение экономического положения авиации вследствие удорожания авиатоплива приведет к повышению или сокращению уровня финансирования прикладных исследований и разработок.

Ключевые слова: наукоемкая промышленность, прикладная наука, угрозы и возможности, финансирование исследований и разработок, экономико-математическая модель

Введение

Взаимосвязь экономической конъюнктуры и финансирования исследований и разработок (ИиР) является предметом интереса экономической науки с тех пор, как инновации стали рассматриваться как ключевой фактор экономического развития. С этой точки зрения, прежде всего, рассматривается влияние инвестиций в ИиР на последующие изменения таких экономических показателей, как ВВП страны, объемы продаж и рентабельность фирм, факторная производительность и т. п. (см., например, [11]). В то же время интересно и влияние экономической конъюнктуры на финансирование науки и разработку новых технологий. В основном в этой области исследователи ограничиваются эмпирическим анализом изменения объемов финансирования ИиР в ходе делового цикла, в условиях кризисов и т. п. [10, 14, 16]. Однако соответствующие эмпирические результаты неоднозначны. С одной стороны, на страновом и мировом уровнях, как правило, при спаде экономической активности сокращаются и частные инвестиции в ИиР [10, 16], но, с

другой стороны, на уровне отдельных отраслей и компаний наблюдаются исключения из этого правила, и нередко именно эти исключения приводят к последующему успеху. Что касается государственного финансирования ИиР [3], то согласно традиционным рекомендациям оно должно иметь контрциклический характер, т. е. во время экономических спадов и кризисов должно увеличиваться. В основном экономически развитые зарубежные страны следуют этим рекомендациям [14]. Однако Российская Федерация нередко не имеет достаточных ресурсов для увеличения финансирования науки и технологического развития в периоды экономического спада — по крайней мере, принятие соответствующих решений проходит в обстановке жесткой полемики и конкуренции за бюджетные ресурсы как между отраслями, так и внутри отраслей — между организациями промышленности и науки. Поэтому моделирование принципов принятия соответствующих решений — актуальная научная задача.

С одной стороны, в относительно благоприятных условиях у корпораций (и, зачастую, го-

сударств) нет сильных стимулов к тому, чтобы инвестировать в развитие технологий, поскольку и текущий уровень совершенства технологий обеспечивает им успешное функционирование (рентабельную работу на рынке, успехи в социально-экономической или военно-политической сфере). Этот эффект «тучных лет», т. е. относительно благоприятных периодов развития фирм, регионов или стран, является одним из объяснений эффектов наподобие «ресурсного проклятия» [6, 12, 15]. С другой стороны, при ухудшении условий, хотя соответствующие стимулы и усиливаются, но сокращаются возможности инвестирования в исследования и разработки. Можно сказать, что при ужесточении условий работы бизнеса, реального сектора экономики возрастает спрос на новые технологии как *готовность* платить за их приобретение, но платежеспособный спрос как *возможность* нести эти расходы — снижается. С учетом этих двух противоположных тенденций и следует строить прогнозы спроса на новые технологии, объема финансирования прикладных исследований и разработок.

В данной работе общая проблема прогнозирования «спроса на науку и технологии» и влияния на него экономических кризисов рассматривается на конкретном примере авиационной промышленности и авиационной прикладной науки. В статье [4] предлагалось классифицировать возможные кризисы и сценарии ужесточения условий работы отрасли следующим образом:

— *ресурсные кризисы*, вызванные удорожанием используемых ресурсов. Так, при удорожании горюче-смазочных материалов (ГСМ) растут издержки авиаперевозчиков. Это вызывает, как правило, рост тарифов и снижение пассажирооборота, что в долгосрочной перспективе снижает и спрос на авиационную технику. Однако новые технологии, позволяющие экономить подорожавшие ресурсы, могут стать средством компенсации роста эксплуатационных затрат авиакомпаний и предотвращения снижения спроса на авиационную технику. Эмпирические свидетельства такой возможности широко известны — достаточно проследить за динамикой развития технологий в области транспорта и энергетики после глобального нефтяного кризиса 1970-х гг.;

— *конъюнктурные кризисы*, для данной отрасли выражающиеся в спаде спроса на авиаперевозки (т. е. в сдвиге самой кривой спроса, а не в движении вдоль нее вследствие повышения тарифов). Такой кризис, как показано в статье [4], вызывает резкое, более глубокое,

чем спад спроса на перевозки, сокращение спроса на воздушные суда, приобретаемые для расширения парка (поскольку оно становится ненужным) и замены физически изношенных изделий (поскольку численность парка и без того становится избыточной). В этом случае вывод на рынки новых изделий, обладающих «прорывным» превосходством перед современными в части эксплуатационных затрат, в принципе, может помочь преодолеть стагнацию на рынке новых воздушных судов. То есть и такой вид кризисов может усилить стимулы к инновациям.

И если действие «конъюнктурных» кризисов, как показано выше, достаточно всесторонне исследовано эмпирически (хотя и в этой части наблюдаются недостаточно объясненные явления), то в данной работе предполагается уделить особое внимание влиянию ужесточения условий именно на рынках ресурсов, причем целесообразно исследовать их воздействие на финансирование ИиР с помощью экономико-математического моделирования.

Вызовы для наукоемкой промышленности (т. е. масштабные внешние изменения, влияющие на ее развитие) могут быть как благоприятными возможностями, так и угрозами для прикладной науки.

С одной стороны, основным источником финансового обеспечения авиационной науки в странах-лидерах мирового авиастроения, располагающих мощной и рентабельной авиационной промышленностью, в долгосрочной перспективе являются доходы предприятий авиастроения. При снижении прибыли авиапроизводителей вследствие реализации неблагоприятных внешних условий (например, при снижении спроса на перевозки воздушным транспортом, либо при повышении цен на топливо) снижаются и их инвестиционные возможности, что может привести к недофинансированию исследовательских организаций.

С другой стороны, при ужесточении внешних условий повышается заинтересованность авиационной промышленности в разработке и внедрении новых технологий, способных улучшить характеристики ее продукции и тем самым повысить продажи. Технологические инновации становятся средством конкурентной борьбы для отдельных производителей, а для отрасли в целом — средством стимулирования спроса на выпускаемую продукцию в условиях стагнации рынка. Таким образом, экономически оправданный уровень финансирования прикладной науки может увеличиться.

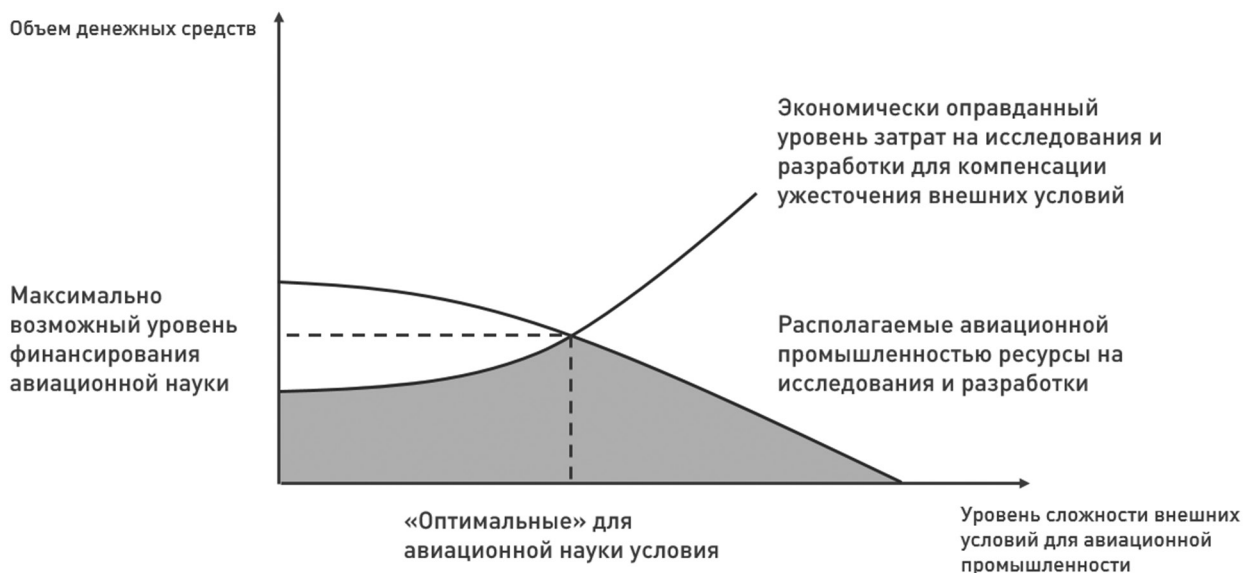


Рис. 1. Зависимость уровня финансирования прикладной науки от уровня сложности внешних условий для авиационной промышленности

Итак, с одной стороны, ухудшение условий для авиационной промышленности сокращает ее финансовые возможности для разработки новых технологий, но, с другой стороны — может повышать ее заинтересованность в их разработке. Эти рассуждения проиллюстрированы на рисунке 1.

Зависимость экономически оправданного уровня затрат на исследования и разработки от сложности условий функционирования авиационной промышленности возрастающая: чем сложнее условия, тем больше предприятия готовы вложить в новые технологии, чтобы компенсировать их негативное влияние. Зависимость располагаемых промышленностью ресурсов, которые могут быть потрачены на технологические инновации, от уровня сложности внешних условий, напротив, убывающая: чем ниже доходы от производства и продаж в сложившихся обстоятельствах, тем меньшими средствами на исследования и разработки обладают производители.

Затемненная область на рисунке 1 показывает возможный (с точки зрения располагаемых средств, так и заинтересованности в их инвестировании в ИиР) объем финансирования авиационной науки при заданных внешних условиях. Видно, что существует некоторый оптимум (с точки зрения научных организаций), когда на развитие технологий может быть выделен наибольший объем средств.

Постулируя связь между экономическим положением авиастроения и располагаемыми средствами на финансирование авиационной науки, следует сделать некоторые оговорки. Периодически встречается следующее

утверждение: все средства на производство, разработку авиационной техники и соответствующие исследования берутся, в конечном итоге, из кармана авиапассажиров. Однако оно является слишком упрощенным. Фактически средства на финансирование прикладных научно-исследовательских работ (НИР) в области авиастроения даже в странах с рыночной экономикой и рентабельной авиастроительной отраслью поступают в значительной степени из государственного бюджета. Такая практика необходима как для компенсации рисков краткосрочных изменений финансовых потоков на предприятиях авиационной промышленности, так и в силу объективной экономической целесообразности централизованного выполнения прикладных НИР на доконкурентных стадиях жизненного цикла продукции. Таким образом, большая часть прикладных исследований в области авиастроения выполняется за государственный счет и в организациях государственного сектора авиационной науки, даже в странах, которые традиционно принято считать либерально-рыночными, как, например, США и страны ЕС. В то же время в странах-лидерах мирового гражданского авиастроения значительная доля средств на прикладные исследования поступает и напрямую от бизнеса. В этих случаях средства выделяются корпорациями в рамках софинансирования национальных научно-технологических проектов совместно с госбюджетом, или в рамках инициативных НИР, выполняемых в интересах отдельных корпораций, их собственными силами либо университетами и национальными лабораториями государственного сектора на-

уки. Так, в ЕС около 68 % средств на исследования и разработки приходится на долю корпораций и 32 % — на долю государственного бюджета (причем последний доминирует в военном сегменте, тогда как в гражданском авиастроении превалирует вклад частного капитала)¹. В то же время это именно затраты на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), объединяющие затраты на опытно-конструкторские работы (ОКР), т. е. на разработку конкретных изделий (что, по правилам ВТО, полностью является прерогативой бизнеса), и на прикладные НИР — а в этой сфере все равно преобладает вклад государства.

В Российской Федерации, где авиастроение до сих пор, в силу ряда объективных причин (в том числе технологического характера), остается дотационной отраслью, промышленные организации, фактически, конкурируют с научными за финансовые ресурсы, выделяемые из федерального бюджета, возможности которого в кризисные периоды резко сокращаются, что не позволяет реализовать теоретически «правильную» контрциклическую политику государственного финансирования ИиР [14, 16]. Как правило, порядки величин характерных сумм потребных затрат на исследования, разработку и производство продукции соотносятся по известному закону «1 — 10 — 100». Но, несмотря на это, средства, выделяемые на прикладные НИР, нередко перераспределяются для экстренной компенсации дефицита средств на разработку изделий или даже на освоение их выпуска — хотя на этих стадиях суммы, необходимые прикладной науке, как правило, не могут сыграть значительной роли. При этом перераспределение средств от прикладной науки в пользу промышленности, даже решая ее тактические проблемы, лишает последнюю научно-технического задела в будущем. Однако организации авиационной промышленности, разрабатывая и поставляя конкретные образцы авиационной техники в текущий момент времени, обладают существенно большими лоббистскими возможностями по сравнению с научными организациями, создающими технологии, которые сыграют свою роль лишь в стратегической перспективе. Так или иначе, в любой стране, где представлены авиационная промышленность и соответствующая отрасль прикладной науки, изменение экономиче-

ского положения и финансовых возможностей авиастроительных предприятий существенно влияет на возможности финансирования авиационной науки.

Моделирование оптимального спроса авиационной промышленности на технологии повышения топливной эффективности воздушных судов

Построим упрощенную количественную модель описанных эффектов изменения «спроса на науку» со стороны наукоемкой промышленности. Для упрощения примера в качестве условий, характеризующих уровень сложности «вызовов» для авиастроения, будем рассматривать единственный параметр — цену авиационных ГСМ. Значительное повышение цены авиатоплива стимулирует перевозчиков либо к покупке новой, более экономичной техники, либо к модернизации имеющегося парка воздушных судов в целях снижения топливных затрат. В свою очередь, предприятия авиационной промышленности вынуждены инвестировать в разработку новых технологий, обеспечивающих снижение расхода топлива перспективных или уже выпускаемых ими изделий (либо соглашаться на перераспределение государственного бюджета в пользу прикладной науки). На протяжении нескольких десятилетий именно снижение расхода авиатоплива было основной целью технологического развития гражданского авиастроения (см. [8, 9]).

Модель выбора оптимального уровня расхода топлива конкурирующими разработчиками и производителями воздушных судов

Будем считать для упрощения модели, что авиаперевозчики и поставляющие им авиационную технику предприятия авиационной промышленности представляют собой вертикально интегрированные структуры («квази-корпорации»), выпуск которых измеряется в единицах транспортной работы. То есть продукция авиастроения — авиационная техника и услуги по ее послепродажной поддержке — рассматривается как внутренние продукты таких «предприятий». Такой упрощенный подход позволяет, избегая весьма сложного моделирования рынка авиаперевозок, на котором работает множество авиакомпаний, оценить интегральное влияние цены авиатоплива на прибыль как перевозчиков, так и производителей авиационной техники. Увеличение или сокращение продаж продукции последних в долгосрочной перспективе определяется ростом или уменьшением объемов перевозок.

¹ Согласно источнику: Проблемы и перспективы развития отечественной авиационной промышленности: аналитический доклад. М.: Межведомственный аналитический центр, 2011. 60 с.

Что касается множества авиакомпаний, в первом приближении можно считать (благодаря их многочисленности), что они работают в условиях совершенной конкуренции как на рынке авиаперевозок, так и на рынках продукции авиастроения, где они являются покупателями. Тогда их стратегии не имеют значения, а их технологии определяются технологическим уровнем тех воздушных судов, которые они выбрали.

Пусть на глобальном рынке авиаперевозок присутствует n одинаковых игроков, максимизирующих прибыль и не учитывающих стратегии конкурентов (т. е. в качестве модели рынка принята олигополия Курно, подробнее см. [2]). При одинаковых технологиях равновесные выпуски, затраты, прибыли игроков на таком рынке будут одинаковыми. Будем считать функции спроса на перевозки и издержек игроков линейными. Функция спроса выражается следующей формулой:

$$p(q_\Sigma) = a - b \cdot q_\Sigma = a - b \cdot n \cdot q,$$

где p — цена за единицу транспортной работы, или километровой тариф (ден. ед./пасс.-км); q_Σ — суммарный выпуск всех игроков (пасс.-км); q — выпуск каждого отдельного игрока (пасс.-км); a, b — постоянные коэффициенты линейной функции спроса (причем, коэффициент a отражает т. н. *запретительную цену*, т. е. такой уровень тарифа, при котором спрос упадет до нуля).

Функция издержек отдельного игрока имеет вид:

$$C(q) = c_{\text{ПКМ}} \cdot q = (c_{\text{пр}} + p_{\text{ГСМ}} \cdot g) \cdot q,$$

где C — суммарные затраты одного игрока на весь объем обеспечиваемой им транспортной работы (ден. ед.); $c_{\text{ПКМ}}$ — суммарные затраты игрока на единицу транспортной работы (ден. ед./пасс.-км); $c_{\text{пр}}$ — прочие, т. е. нетопливные затраты на единицу транспортной работы (ден. ед./пасс.-км); $p_{\text{ГСМ}}$ — цена на авиатопливо (ден. ед./кг); g — расход топлива используемых воздушных судов на единицу транспортной работы (кг/пасс.-км).

Условие равновесия в модели олигополии Курно выглядит, в общем случае (при произвольных функциях затрат и спроса), следующим образом:

$$p(q_\Sigma) \cdot \left[1 + \frac{1}{n} \cdot \frac{\partial p(q_\Sigma)}{\partial q_\Sigma} \cdot \frac{q_\Sigma}{p(q_\Sigma)} \right] = MC,$$

где $MC = \frac{\partial C(q)}{\partial q}$ — предельные издержки каждого игрока.

С учетом принятых здесь спецификаций моделей спроса и затрат (т. е. линейных функций) это условие записывается следующим образом:

$$a - b \cdot q \cdot (n + 1) = c_{\text{ПКМ}}$$

Равновесный выпуск каждого игрока определяется из полученного уравнения, далее вычисляется равновесная цена:

$$q_* = \frac{a - c_{\text{ПКМ}}}{b \cdot (n + 1)},$$

$$p_* = a - b \cdot n \cdot q_* = a - \frac{n}{n + 1} \cdot (a - c_{\text{ПКМ}}) = \frac{a + n \cdot c_{\text{ПКМ}}}{n + 1}.$$

Равновесное значение прибыли каждого игрока выражается следующей формулой:

$$\begin{aligned} \Pi_* &= p_* \cdot q_* - C(q_*) = q_* \cdot (p_* - c_{\text{ПКМ}}) = \\ &= \frac{1}{b} \cdot \left(\frac{a - c_{\text{ПКМ}}}{n + 1} \right)^2 = \frac{1}{b} \cdot \left(\frac{a - (p_{\text{ГСМ}} \cdot g + c_{\text{пр}})}{n + 1} \right)^2. \end{aligned}$$

Для компенсации удорожания топлива игроки будут вынуждены выделить часть прибыли на развитие технологий снижения расхода топлива. Для расчета экономически оправданного уровня затрат игроков на исследование и разработки при заданных условиях будем пользоваться следующим критерием: необходимо максимизировать прибыль вышеописанного «вертикально интегрированного предприятия» (авиастроительной компании и авиакомпаний, пользующихся ее продукцией) за вычетом затрат на повышение технического совершенства разрабатываемых изделий:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{чист}} &= \Pi_*(g) - C_{\text{НИР}}(g) = \\ &= \frac{1}{b} \cdot \left(\frac{a - (p_{\text{ГСМ}} \cdot g + c_{\text{пр}})}{n + 1} \right)^2 - C_{\text{НИР}}(g) \rightarrow \max_g. \end{aligned}$$

Зависимость необходимых затрат на исследование и разработки от требуемого уровня совершенства авиационной техники (в данном случае, от удельного расхода топлива, т. е. $C_{\text{НИР}}(g)$) имеет нелинейный характер и, как правило, представляется в виде S-образной кривой, широко используемой в моделировании динамики инновационного развития технологий (см. [5]). Причем в настоящее время, как показывает анализ трендов технологического развития авиастроения [9]¹, реализуется ее

¹ См. также источник: Commercial Aircraft Design Characteristics — Trends and Growth Projections // International Industry Working Group, January 2007, 5th Edition. — 60 p. [Electronic resource]. URL: <http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/industrydocs/ctol.pdf>.

заклучительный, выпуклый вниз участок: последовательное улучшение характеристик воздушных судов путем развития существующих технологий требует все возрастающих ресурсов, т. е. $(\partial^2 C_{\text{НИР}} / \partial g^2) > 0$.

Тогда оптимальный уровень расхода топлива, которого следует достигать в результате прикладных исследований и разработок в сложившихся условиях, определяется следующим образом:

$$\left. \frac{\partial \Pi_s}{\partial g} \right|_{g_{\text{opt}}} = \left. \frac{\partial C_{\text{НИР}}}{\partial g} \right|_{g_{\text{opt}}}.$$

Соответственно, определяется и оптимальный уровень затрат на НИР $C_{\text{НИР}}(g_{\text{opt}})$. Можно наглядно изобразить правило определения оптимального уровня совершенства технологий и оптимальных затрат отдельного игрока на прикладные исследования следующим образом, см. рисунок 2.

В приведенной выше модели рассматривается конкурентный рынок авиационной техники и выполняемых с ее помощью авиaperевозок. Оптимальный уровень затрат на прикладные НИР и соответствующий уровень развития технологий определялся каждым

конкурентом в отдельности. В первом приближении можно считать такую модель адекватной реальной ситуации, когда на рынке магистральных самолетов сложилась дуополия американской компании Boeing и европейского консорциума Airbus, причем эти производители пользуются результатами прикладных исследований и разработок, финансируемых государством, в США и ЕС. Хотя в реальности, разумеется, их финансирование и использование результатов отчасти носят перекрестный характер (да и сами эти производители имеют предприятия в «странах-конкурентах», поскольку современное авиастроение представляет собой глобальную сетевую структуру).

Калибровка модели спроса на авиaperевозки производилась из соображений приближительного соответствия реальной конъюнктуре рынков авиaperевозок и гражданских воздушных судов в начале 2000-х гг. При построении графиков на рисунке 2 использованы следующие значения исходных данных:

$$a = 0,15 \text{ ден. ед./пасс.-км};$$

$$b = 10^{-14} \text{ ден. ед./ (пасс.-км)}^2;$$

$n = 2$ (т. е. на рынке воздушных судов имеет место дуополия);

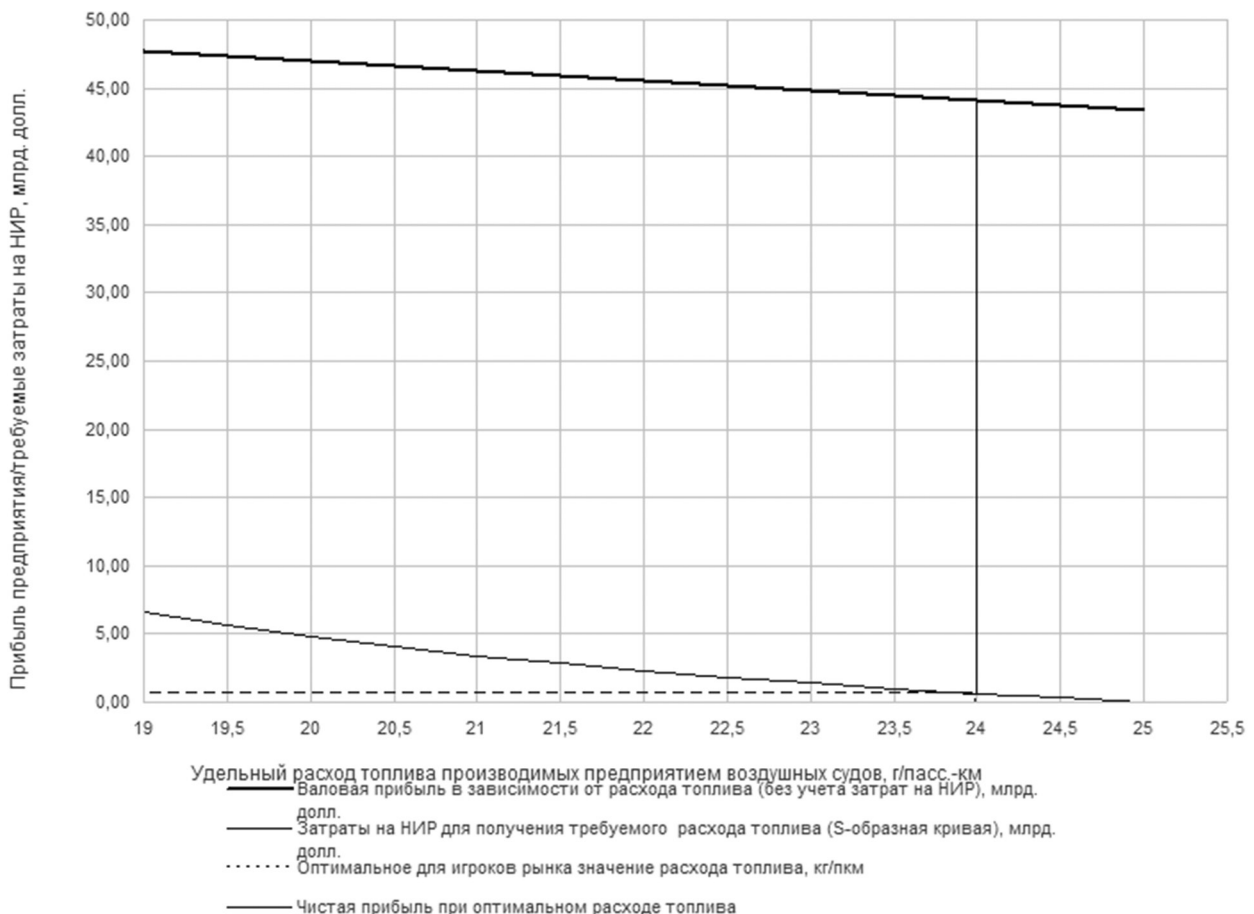


Рис. 2. Оптимальный уровень затрат на НИР и оптимальный уровень удельного расхода авиатоплива (пример 1, цена авиатоплива — 500 ден. ед./т)

$$p_{ГСМ} = 500 \text{ ден. ед./т};$$

$$c_{пр} = 0,075 \text{ ден. ед./пасс.-км.}$$

При таких значениях параметров модели равновесный уровень тарифов составляет $p^* = 0,108$ ден. ед./пасс.-км; равновесный уровень выпуска каждого дуополиста $q^* = 2,1$ трлн пасс.-км/год, а суммарный пассажирооборот мировой гражданской авиации вдвое выше, чуть более 4 трлн пасс.-км/год. При этом оптимальный уровень удельного расхода топлива составляет $g_{opt} = 24$ г/пасс.-км, а топливные затраты достигают приблизительно 30 % суммарных эксплуатационных затрат.

В приведенном расчетном примере принят следующий вид зависимости затрат на НИР от удельного расхода топлива:

$$C_{НИР}(g) = A \cdot \left(\frac{1}{g - g_{min}} - \frac{1}{g_0 - g_{min}} \right),$$

где A — нормирующая константа; g_0 — начальное значение расхода топлива, достигнутое до начала соответствующих НИР, т. е. $C_{НИР}(g_0) \equiv 0$; g_{min} — минимально достижимый в рамках данного технологического уклада уровень расхода топлива (т. е. учитывается, что при любых затратах на исследования и разработки невоз-

можно получить значение расхода топлива ниже некоторого порога, обусловленного законами природы).

При таких допущениях о форме зависимости $C_{НИР}(g)$ затраты возрастают прогрессирующим образом по мере приближения к физическому пределу g_{min} .

На рисунке 2 приняты следующие значения параметров этой зависимости, также характерные для современного этапа технологического развития гражданского авиастроения:

$$g_0 = 25 \text{ г/пасс.-км};$$

$$g_{min} = 12 \text{ г/пасс.-км};$$

$$A = 0,1 \text{ млрд ден. ед./ (г/пасс.-км)}.$$

Ниже на рисунке 3 показаны графики, аналогичные таковым на рис. 2, но полученные при более высокой цене авиатоплива, $p_{ГСМ} = 1000$ ден. ед./т.

Сравнение рисунках 2 и 3 показывает, что с ростом цены авиатоплива, даже несмотря на адаптацию к удорожанию топлива путем снижения его удельного расхода, валовая прибыль фирм сокращается (т. е. адаптация к ужесточению внешних условий лишь смягчает их эффект, но он остается негативным). Однако в данном случае экономия топлива становится

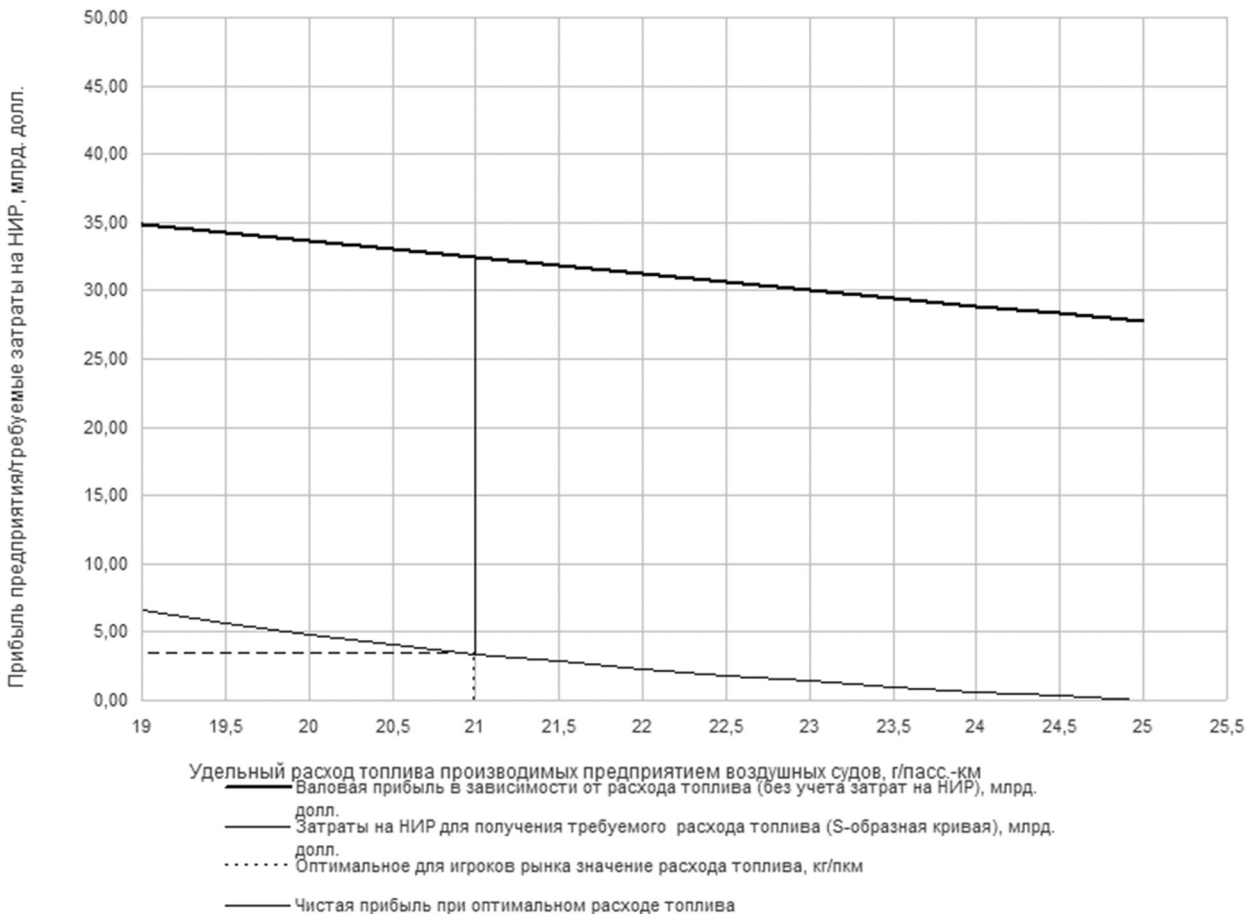


Рис. 3. Оптимальный уровень затрат на НИР и оптимальный уровень удельного расхода авиатоплива (пример 2, цена авиатоплива — 1000 ден. ед./т)

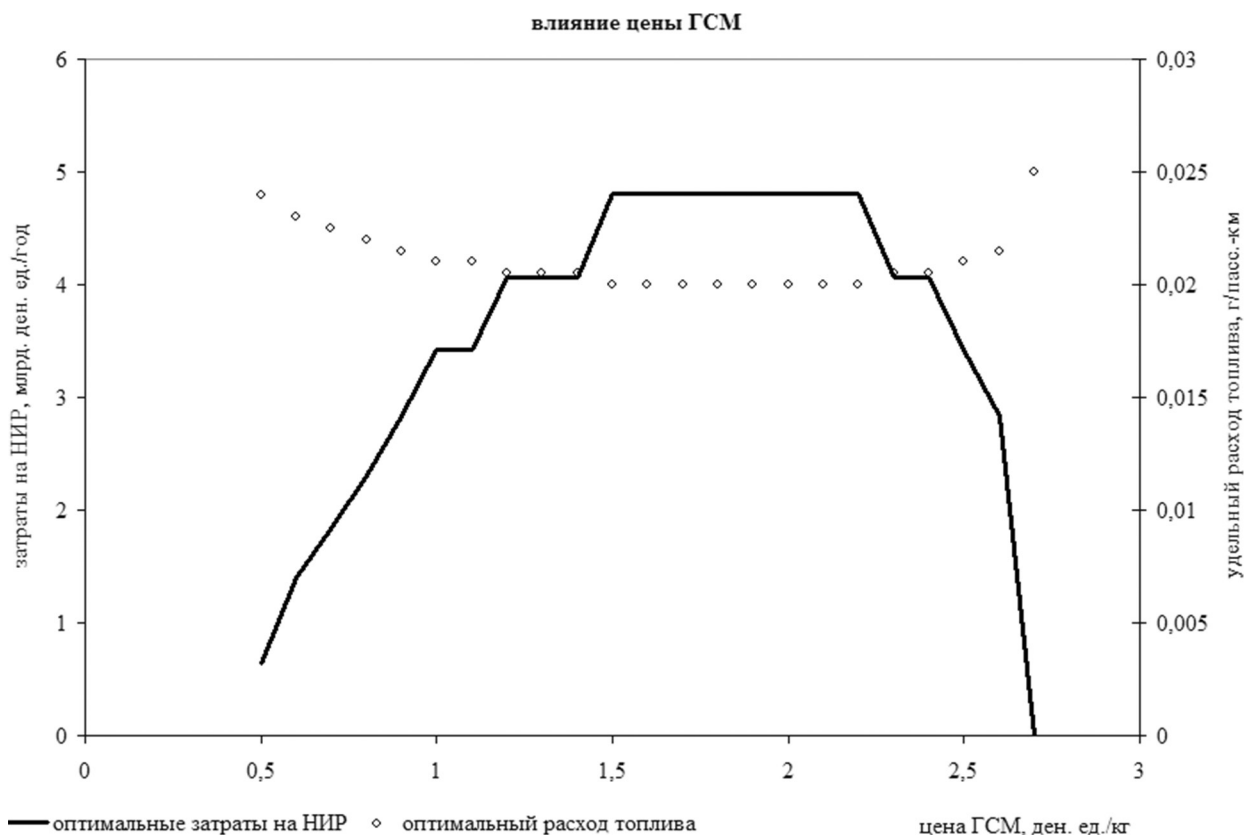


Рис. 4. Оптимальный уровень затрат на НИР в зависимости от цены авиатоплива

«ценнее», т. е. прирост валовой прибыли при сокращении расхода топлива возрастает (иллюстрирующая ее кривая на рисунке 3 проходит круче, чем на рисунке 2). Следовательно, усиливаются стимулы к разработке соответствующих технологий. На рисунке 3 показано, что оптимальный уровень расхода топлива сократился, по сравнению с примером на рисунке 2, с 24 до 21 г/пасс.-км.

Определяя вышеописанным образом оптимальный уровень удельного расхода авиатоплива и соответствующие оптимальные для каждого конкурента затраты на НИР, далее можно варьировать цену авиатоплива, получая зависимость от нее оптимальных затрат на НИР. На рисунке 4 показан (сплошной жирной немаркированной линией) полученный при указанных выше исходных данных, а также при варьировании цены ГСМ, график зависимости оптимальных, для отдельного конкурента, затрат на прикладные исследования от параметра, характеризующего внешние условия работы отрасли — в данном примере, от цены ГСМ, т. е. $C_{НИР}(g_{opt}|p_{ГСМ})$. По вспомогательной оси ординат (круглыми незаштрихованными маркерами) отражен также оптимальный, при данной цене ГСМ, удельный расход авиатоплива, т. е. $g_{opt}|p_{ГСМ}$.

В отличие от схематичного изображения кривой «спроса на технологии» на рис. 1, здесь полученная зависимость $C_{НИР}(g_{opt}|p_{ГСМ})$ немонотонна. То есть сначала, в соответствии с вышеизложенными интуитивными соображениями, ужесточение условий вызывает рост заинтересованности фирм в финансировании разработки технологий, позволяющих приспособиться к более жестким условиям. Однако с некоторого момента оптимальный уровень затрат на НИР падает. Объяснение наблюдаемому здесь эффекту (который вполне возможен и в реальности, и фактически наблюдается в определенные периоды) таково. По мере удорожания ГСМ, даже несмотря на усилия по снижению их расхода, топливные затраты и тарифы возрастают. Это, в свою очередь, при сколько-нибудь эластичном спросе на перевозки приводит к сокращению их объема. Следовательно, сокращаются и прибыли конкурирующих производителей, а также — с некоторого момента — неизбежно сокращаются и значения прироста прибыли при сокращении расхода топлива. В полном соответствии с описанным выше правилом определения оптимума оптимальные, экономически оправданные затраты на НИР падают, а оптимальный расход топлива снова начинает возрастать.

Альтернативные модели оптимизации затрат на НИР в авиастроении

В работе [7] предлагается иной, более простой, чем в данной работе, способ определения оптимальных затрат на НИР (причем, также направленных на сокращение расхода топлива гражданскими воздушными судами). Если в предлагаемой здесь модели рассматривается конкуренция производителей авиационной техники, то в указанной работе определяется «народнохозяйственный оптимум» затрат на НИР, по аналогичному маржиналистскому принципу. То есть выгодно инвестировать дополнительные средства в сокращение расхода топлива, до тех пор, пока эти дополнительные затраты ниже, чем получаемая при этом экономия в эксплуатации парка воздушных судов:

$$\Delta C_{\text{НИР}} \leq -q_{\Sigma} \cdot p_{\text{гсм}} \cdot \Delta g; \Rightarrow \left. \frac{\partial C_{\text{НИР}}}{\partial g} \right|_{g_{\text{опт}}} = -q_{\Sigma} \cdot p_{\text{гсм}}.$$

Такая постановка задачи упрощена и в том отношении, что пассажирооборот q_{Σ} принимается фиксированным, т. е. спрос на авиаперевозки считается неэластичным. В этом случае, разумеется, с ростом цены авиатоплива оптимальный уровень затрат на НИР только возрастает монотонным образом, в соответствии с формой зависимости $C_{\text{НИР}}(g)$, тогда как в данной работе он может и сокращаться с определенного момента, поскольку по мере удорожания авиаперевозок спрос на них падает, как и прибыли конкурирующих фирм.

Также можно упомянуть иные модели «спроса на технологии», в том числе построенные на примере авиастроения. Например, в работе [1] определяется оптимальный уровень шума воздушных судов на местности и соответствующий ему оптимальный уровень затрат на разработку соответствующих технологий, причем рассматривается «конкуренция стандартов». То есть разработчик более экологичных изделий имеет возможность в зоне юрисдикции соответствующих авиационных властей пролоббировать ужесточение норм по шуму и, тем самым, полностью вытеснить аутсайдеров в «гонке стандартов» с соответствующих рынков.

Проблемы оценки затрат на исследования и разработки

В указанной модели, как и во всех описанных здесь, требуется знать зависимость затрат на прикладные исследования и разработки от достижимого благодаря им уровня совершенства технологий и продукции. В реальности конкретный вид зависимости затрат на НИР

от достижимых благодаря им результатов вряд ли удастся оценить количественно в виде явной функциональной зависимости. Причем, поскольку она отражает связь затрат на НИОКР и их результатов, ее практически не удастся достоверно прогнозировать, и можно говорить лишь об апостериорной оценке этой связи на основании сведений о фактически понесенных затратах и достигнутых результатах. Однако даже эта, на первый взгляд, простая задача может оказаться практически неразрешимой по следующим причинам.

Во-первых, затраты на исследования и разработки распределены между фирмами и государственными научными учреждениями, университетами и др., также реализуются международные программы, что дополнительно затрудняет учет затрат. Выше уже было отмечено, что в странах с передовой авиационной промышленностью сам бизнес в значительной мере финансирует прикладные исследования и разработки — хотя и в этих странах государственный сектор прикладной науки играет решающую роль, в том числе в централизованном планировании, скоординированном управлении созданием новых технологий¹. В этих случаях корректнее использовать в расчетах общую сумму затрат на НИР и ОКР, которая, по официальным статистическим данным [13], составляет в США и ЕС от 12 до 14 % выручки авиастроения.

Во-вторых, наблюдается интерференция элементов сложных систем и новых технологий между собой. То есть, например, одна изолированная инновация обеспечила бы сокращение расхода топлива на 20 %, но другая инновация, внедряемая наряду с первой и направленная на достижение иных целей технологического развития авиации (например, на повышение долговечности конструкций, или на сокращение шума), приведет к его увеличению на 10 %, и т. п. При этом, как правило, прикладные научно-исследовательские программы в области авиастроения имеют многоцелевой характер. Поэтому даже отдельная исследовательская программа может дать целый ряд результатов в разных областях (например, повышение топливной экономичности авиадвигателя, его надежности и технологичности, улучшение экологических характеристик и др., см. [8] и др.²). По этим причинам практически

¹ См. стратегический план США: National Plan for Aeronautics Research and Development and Related Infrastructure // сайт www.nasa.gov, December 2007. 56 p.

² Также полезно ознакомиться с дайджестом типичной, «представительной» современной программы приклад-

невозможно выделить затраты, понесенные именно с целью сокращения расхода топлива или улучшения какого-либо иного конкретного показателя.

Следует подчеркнуть, что в последние годы наиболее масштабные программы исследований и разработок в области гражданского авиастроения, инициируемые государствами или надгосударственными объединениями, формально нацелены не столько на сокращение расхода топлива или снижение иных эксплуатационных затрат, сколько на достижение общественно значимых целей в области экологии, безопасности полетов и т. п. Однако, как показывает анализ, декларируемые цели повышения экологичности авиатранспорта могут сопутствовать вполне прагматичным мотивам конкурентной борьбы — во-первых, потому, что улучшение экологических параметров служит инструментом «гонки стандартов» (подробнее см. [1]) и, во-вторых, потому, что, например, снижение эмиссии углекислого газа напрямую связано со снижением расхода углеводородного топлива. Таким образом, даже многие национальные и международные программы прикладных исследований направлены на повышение экономической эффективности гражданской авиационной техники, причем магистральным путем достижения этой цели на протяжении нескольких десятилетий было именно снижение расхода ГСМ.

Поэтому, несмотря на вышеописанные методологические проблемы, можно сделать предварительные количественные оценки параметров зависимости $C_{\text{НИР}}(g)$, сопоставляя:

— фактические объемы затрат зарубежных самолето- и двигателестроительных компаний, а также государственных научных учреждений (таких, как NASA), на исследования и разработки в целях совершенствования гражданской авиационной техники (что, в свою очередь, в значительной степени означало сокращение расхода авиатоплива), составляющие порядка нескольких миллиардов долларов;

— достигаемые или ожидаемые в результате этих НИР результаты (снижение удельного расхода топлива перспективными изделиями на 15–20 % относительно современного уровня, т. е. на несколько г/пасс.-км).

Именно таким образом и были сформированы соответствующие исходные данные для вышеприведенных модельных расчетов. То

есть параметры зависимости $C_{\text{НИР}}(g)$ на рис. 2 и 3 можно считать реалистичными по порядку величины.

Моделирование платежеспособного спроса авиационной промышленности на технологии сокращения расхода авиатоплива

Полученная выше (тем или иным способом) зависимость $C_{\text{НИР}}(g_{\text{опт}}|p_{\text{ГСМ}})$ — это именно экономически оправданный уровень затрат на НИР, т. е. сумма, которую предприятиям авиастроения выгодно потратить для компенсации ужесточающихся внешних условий. Ей соответствует возрастающий график на рис. 1. Теперь необходимо учесть сокращение возможностей выделения средств на науку при ужесточении условий работы реального сектора экономики, построив функцию располагаемого объема средств на финансирование НИР (убывающий график на том же рисунке).

Критический анализ альтернативных принципов определения располагаемого бюджета НИР

Рассмотрим два возможных способа формирования бюджета на НИР: выделение фиксированной доли α от полученной прибыли, либо выделение средств по остаточному принципу, за вычетом постоянной суммы S , затрачиваемой на прочие нужды предприятия:

$$C_{\text{НИР}}^{\text{доля}} = \alpha \cdot \Pi_*; \quad C_{\text{НИР}}^{\text{ост}} = \Pi_* - S.$$

Оба подхода, в принципе, могут иметь некоторые содержательные экономические обоснования. Так, из прибыли могут финансироваться некоторые обязательные и неизменные расходы, например, социального характера и т. п. (особенно распространены примеры таких ограничений на макроуровне, для государства в целом), поэтому средства на науку выделяются только после удовлетворения этих безусловных требований, что соответствует второму варианту (т. е. финансированию НИР по остаточному принципу).

В то же время может быть оправдан и долевым принцип выделения средств на разработку новых технологий. Затраты на НИР — далеко не единственные затраты, которые придется нести для перехода к новым технологиям. Также необходимо провести ОКР, разработать новую продукцию, инвестировать в освоение ее производства (технологическую подготовку производства). Поэтому может быть ограничена сверху доля прибыли, выделяемая на НИР. Улучшение характеристик продукции (например, сокращение расхода топлива) потребует определенных дополнительных затрат

ных исследований в области авиации: Clean Sky at a Glance. Bringing Sustainable Air Transport Closer, February 2012. 16 p. [Electronic resource]. URL: http://ec.europa.eu/research/jti/pdf/cleansky_at_a_glance.pdf.

по всему жизненному циклу — не только на НИР, но, вероятнее всего, на ОКР и, в большинстве случаев, на разработку и на производство. Прочие составляющие эксплуатационных затрат, помимо топливных, — прежде всего, расходы на техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р) авиационной техники — также могут возрасти.

В то же время, если исходить из того, что улучшение характеристик продукции требует дополнительных затрат по всему жизненному циклу, более корректно учитывать эти дополнительные затраты непосредственным образом. То есть функция затрат на улучшение характеристик продукции должна отражать не только затраты на НИР, но и все прочие вышеперечисленные статьи затрат, которые также могут возрасти. Пользуясь тем же маржиналистским подходом, следует сопоставлять дополнительные затраты на протяжении всего жизненного цикла и возможный прирост прибыли от эксплуатации более экономичных изделий. Затем, определив оптимальный уровень совершенства продукции, следует выделить из состава этих дополнительных затрат расходы непосредственно на НИР. Однако здесь для упрощения иллюстративного примера предполагалось, что все дополнительные затраты на повышение топливной эффективности продукции сводятся к затратам на прикладные НИР.

Строго говоря, долевого принцип определения максимальных расходов на НИР весьма уязвим для критики как на уровне отдельных отраслей и компаний, так и на макроуровне, где нередко ставятся задачи «довести финансирование науки до ... % ВВП». Основную причину его теоретической некорректности легко увидеть из рис. 2 и 3, где определяется оптимальный уровень затрат на исследования и разработки. С ростом емкости рынка авиаперевозок пропорционально возрастает оптимальный

уровень предельных затрат на НИР $\left. \frac{\partial C_{\text{НИР}}}{\partial g} \right|_{g_{\text{opt}}}$,

но не абсолютных, суммарных затрат на НИР $C_{\text{НИР}}(g_{\text{opt}})$. Тот же принцип справедлив и для иной модели оптимальных затрат на НИР [7], в которой рассматривается «народнохозяйственный» оптимум, а не оптимальные стратегии конкурирующих игроков. Так или иначе, при изменении масштаба рассматриваемой системы (отрасли, страны и т. п.) оптимальный уровень затрат на НИР отнюдь не обязан изменяться пропорционально. Поэтому, например, решение устанавливать в России долю

затрат на НИР по аналогии с более крупными странами — США или ЕС (который в части организации науки, скорее, представляет собой единое пространство) может быть не обоснованным экономически. Как правило, при сокращении масштабов системы оптимальные затраты на НИР сокращаются, но медленнее. То есть более крупные страны, фирмы и т. п. обладают преимуществом: оптимальные затраты на НИР, в расчете на единицу продукции, для них, как правило, ниже, чем для меньших по масштабам.

Пример определения располагаемого бюджета НИР и прогнозирования возможных затрат на разработку новых технологий

Ниже на рисунке 5 изображены графики следующих зависимостей от цены авиатоплива. Во-первых, это построенная ранее зависимость оптимальных затрат на НИР для каждого конкурента в рассмотренном выше примере, т. е. $C_{\text{НИР}}(g_{\text{opt}}|p_{\text{ГСМ}})$.

Во-вторых, это график зависимости валовой прибыли, получаемой при оптимальном для игроков уровне расхода топлива и затрат на НИР, т. е. $\Pi(g_{\text{opt}}|p_{\text{ГСМ}})$.

И, в-третьих, это графики зависимостей располагаемого объема средств на НИР, построенные для различных способов определения этого объема. Рассматриваются:

— остаточный принцип, в данном примере располагаемый объем средств на НИР определяется как валовая прибыль за вычетом 20 млрд ден. ед./год;

— долевого принцип, в данном примере на НИР выделяется 5, 10 или 20 % валовой прибыли.

Графики валовой прибыли и располагаемого объема средств на НИР — монотонно убывающие с ростом цены ГСМ. Как и на рисунке 1, они пересекают график оптимальных затрат на НИР в некоторых точках, соответствующих максимуму возможного объема финансирования НИР. В рассмотренных примерах этот максимум соответствует:

— для остаточного принципа определения затрат на НИР — цене авиатоплива, приблизительно равной 1,4 ден. ед./кг;

— для долевого принципа определения затрат на НИР — ценам авиатоплива, приблизительно равным 0,7, 1 и 1,5 ден. ед./кг, соответственно, при выделении 5, 10 и 20 % валовой прибыли на НИР.

То есть при сокращении доли прибыли, которую можно выделить на НИР, либо при ужесточении ограничения в случае остаточного

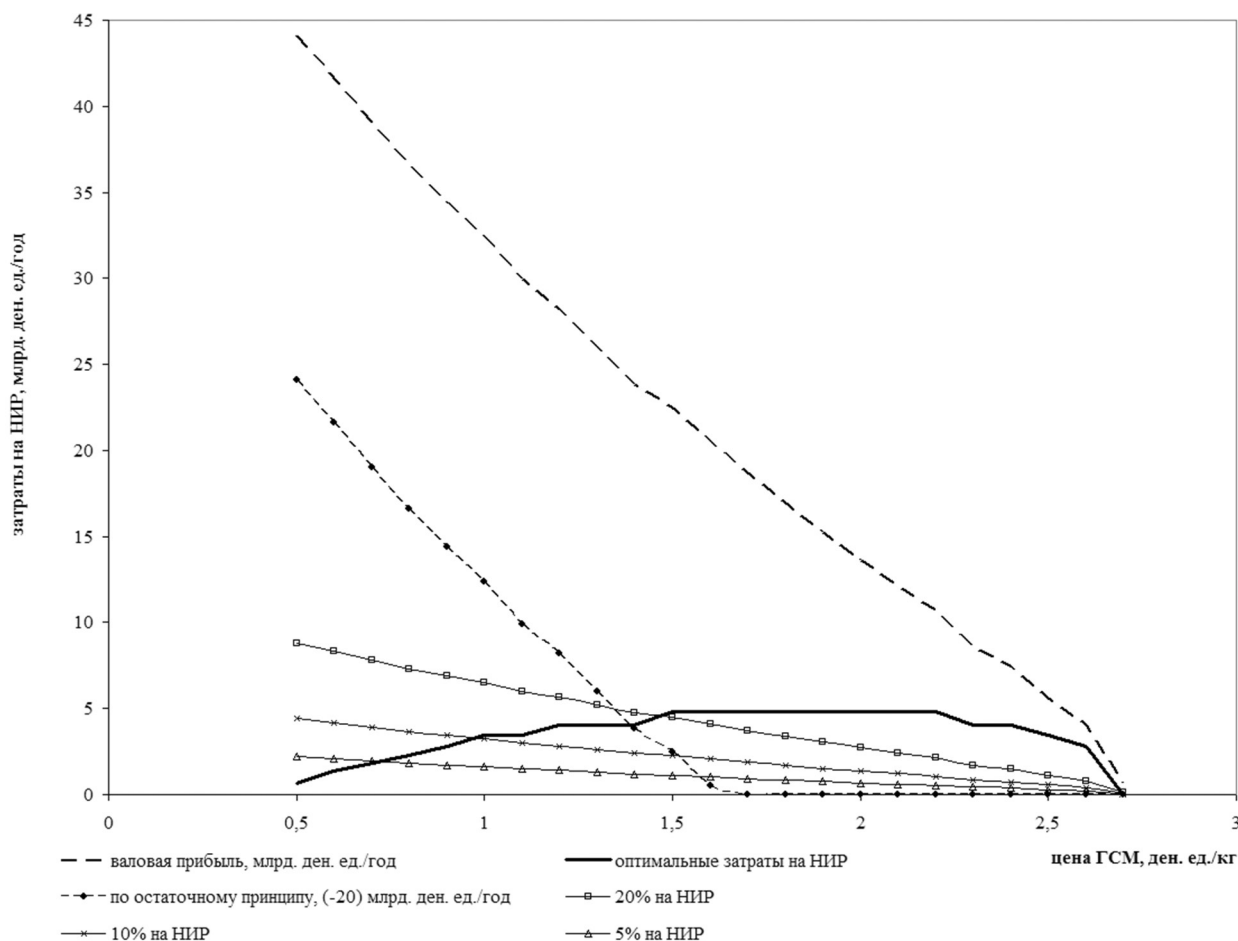


Рис. 5. Располагаемый объем затрат на НИР в зависимости от цены авиатоплива

принципа финансирования НИР, максимально возможный объем выделяемых на исследования средств также сокращается — как и уровень «жесткости» внешних условий, соответствующий максимуму финансирования НИР. То есть при ужесточении условий работы наукоёмкой промышленности спад финансирования прикладной науки наступает раньше.

Заключение

В цепочках взаимодействующих отраслей вида «отрасль, оказывающая конечные услуги населению — отрасль, поставляющая наукоёмкую продукцию для оказания этих услуг — отрасль, развивающая технологии для усовершенствования этой продукции (прикладная наука)» угрозы для каждого предыдущего звена могут, в определенных условиях, создавать благоприятные возможности для последующих звеньев. В частности, ужесточение условий работы промышленности может усиливать стимулы к инновациям и увеличивать экономически оправданный уровень затрат на исследования и разработки.

В то же время каждое последующее звено такой цепочки пользуется предыдущим как

источником ресурсов (без учета государственных дотаций, если финансирование преимущественно на рыночной основе). Поэтому, если промышленность испытывает дефицит ресурсов, это сокращает и возможности финансирования прикладной науки, что может отрицательно сказаться на реализации указанных благоприятных возможностей увеличения экономически оправданных затрат на новые технологии.

С помощью экономико-математических моделей экономически оправданных затрат на исследования и разработки, а также располагаемого объема затрат на эти цели, можно оценить, станут ли вызовы для предыдущих звеньев указанной цепочки, в основном, угрозами либо благоприятными возможностями для последующих звеньев цепочки, и определить области параметров условий развития реального сектора экономики, в которых можно рассчитывать на увеличение ресурсного обеспечения научно-технологического развития (и, соответственно, достижимого уровня развития технологий), и области, в которых вероятно сокращение ресурсного обеспечения.

Так, для гражданского авиастроения на современном этапе его научно-технологического развития спрос на технологии, направленные на сокращение расхода авиатоплива воздушными судами, может возрасть вплоть до значений цены авиатоплива 1,5–2 тыс. долл./т. В то же время возможности финансирования соответствующих исследований и разрабо-

ток сокращаются с ростом цены авиатоплива. Поэтому максимально возможного объема соответствующих затрат можно ожидать при значениях цен авиатоплива 1,0–1,5 тыс. долл./т, в зависимости от принципа выделения средств на исследования и разработки. Фактически это состояние уже достигнуто, что следует учитывать в прогнозах развития прикладной науки.

Список источников

1. Варюхина Е. В., Клочков В. В. Экологические стандарты в гражданской авиации и технологическая конкурентоспособность российского авиастроения // Форум технологического лидерства России «Технодоктрина-2014» [Электронный ресурс]. URL: http://vpk.name/news/123201_ekologicheskie_standartyi_v_grazhdanskoi_aviacii_i_tehnologicheskaya_konkurentosposobnost_rossiiskogo_aviastroeniya.html.
2. Гребенников П. И., Леусский А. И., Тарасевич Л. С. Микроэкономика. — СПб.: Изд. СПбГУЭФ, 1998. — 447 с.
3. Дежина И. Г. Механизмы государственного финансирования науки в России. — М.: ИЭПП, 2006. — 130 с.
4. Клочков В. В. Взаимное влияние экономических кризисов и инновационного развития наукоемкой промышленности // Экономика и математические методы. — 2011. — Т. 47. — № 3. — С. 117–123.
5. Нижегородцев Р. М. Основы теории инноваций. — М.: Доброе слово, 2011. — 88 с.
6. Полтерович В. М., Попов В. В., Тонис А. Механизмы «ресурсного проклятия» и экономическая политика // Вопросы экономики. — 2007. — № 6. — С. 4–27.
7. Тимченко М. В., Клочков В. В. Анализ влияния емкости рынка на конкурентоспособность наукоемкой продукции // Журнал экономической теории. — 2012. — № 2. — С. 115–128.
8. Фалалеев С. В. Современные проблемы создания двигателей летательных аппаратов. — Самара: СГАУ им. С. П. Королева, 2012. — 106 с.
9. Форсайт развития авиационной науки и технологий до 2030 г. и на дальнейшую перспективу. — М.: ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского, 2012. — 190 с.
10. Alfranseder E., Dzhamalova V. The impact of financial crisis on innovation and growth: evidence from technology research and development // Knut Wicksell Working Paper Series. 2014/8, Knut Wicksell Centre for Financial Studies, Lund University. — 44 p.
11. Blanco L., Prieger J., Gu Ji. The impact of R&D on economic growth and productivity in the US states // Southern Economic Journal. — 2016. — Vol. 82. — Issue 3. — P. 914–934.
12. David Paul, Gavin Wright. Increasing Returns and the Genesis of American Resource Abundance // Industrial and Corporate Change. — 1997. — No. 6(2). — P. 203–245.
13. European Aeronautics: Structure of the Industry and Government Support to Research and Development. — Washington, DC: DIANE Publishing Company, 1994. — 61 p.
14. Innovation Union Competitiveness report. 2011 edition. — Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. — 758 p.
15. Sachs J. D., Warner A. M. Natural Resource Abundance and Economic Growth // NBER Working Paper Series. — 1995. — Working Paper 5398.
16. 2016 global R&D funding forecast // R&D Magazine. — Winter, 2016. — 36 p.