

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОРИСКОВЫМИ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ В НАУКОЕМКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н.В. Иванова, В.В. Клочков

Обоснована необходимость реализации высокорисковых инновационных проектов в российской наукоемкой промышленности. Основное внимание уделено отраслям, производящим дорогостоящую продукцию с длительным жизненным циклом. Проведен анализ основных рисков, предложена модель оптимальной диверсификации поисковых исследований.

Ключевые слова: «прорывные» продукты, временная конкуренция, эффект блокировки, поисковые исследования, риск, диверсификация.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на декларации руководителей отечественных предприятий о готовности к инновациям, реальная инновационная активность даже наукоемкого и высокотехнологичного сектора российской промышленности чрезвычайно низка [1]. Анализируя причины такого положения дел, не следует считать заинтересованность бизнеса в инновациях само собой разумеющейся. Помимо субъективных факторов (консерватизм и т. п.), существует и ряд объективных препятствий. Разумеется, никакие инновационные решения не являются априори выгодными для всех заинтересованных сторон. Возникают проблемы согласования интересов, в том числе и внутри фирм. Их решению посвящено множество работ (см., например, [2]). Однако заинтересовано ли предприятие в целом или конкретная наукоемкая отрасль российской экономики в инновационных разработках? Ответ на этот вопрос должен быть подкреплен объективными расчетными оценками, иначе инновационная деятельность (требующая значительных затрат) и далее будет подменяться декларациями.

Как известно, нынешняя доля российской промышленности на мировом рынке наукоемкой продукции пренебрежимо мала (в различных отраслях — от долей процента до нескольких процентов, см., например, работу [1]). Перед боль-

шинством российских предприятий, принадлежащих к наукоемким отраслям, стоит задача выхода на мировой рынок, занятый конкурентами или хотя бы возвращения на отечественный рынок, утраченный за последние годы. При этом следует учитывать, что производственные мощности зарубежных компаний позволяют полностью удовлетворять существующий и перспективный платежеспособный спрос, т. е. рынки отнюдь не ждут российских производителей. Насыщение рынка изделий длительного пользования продукцией зарубежных производителей¹ означает, что даже конкурентоспособная отечественная продукция не будет пользоваться спросом на протяжении многих лет, что делает бессмысленным ее создание.

Для выхода на новые или ранее утраченные рынки мало предложить потребителям продукт, сравнимый с продукцией конкурентов. В настоящее время российской промышленности необходимы не просто конкурентоспособные продукты, а «прорывные», т. е. такие, чтобы потенциальные заказчики (транспортные и энергетические компании, производственные предприятия и т. д.) добровольно заменили продукцию конкурентов — да-

¹ Этот процесс активно идет во многих отраслях — так, например, из 99 магистральных пассажирских самолетов, закупленных в 2002—2005 гг. российскими авиакомпаниями, лишь 17 — новые изделия отечественного производства, и 82 — импортные (в том числе приобретенные на вторичном рынке).

же не исчерпавшую свой срок службы — на новые отечественные изделия. Такое определение позволяет выработать объективные критерии «прорывного» продукта, что необходимо, поскольку само это понятие стало в последнее время объектом недобросовестных спекуляций. В отсутствие таких критериев вероятно непродуктивное использование ресурсов (в том числе, средств, выделяемых из госбюджета) в том случае, если планы прорыва на новые рынки не оправдаются.

В работе [3] показано, что для изделий длительного пользования приведенное условие выполняется, если стоимость приобретения новых изделий ниже выигрыша в уровне эксплуатационных затрат². Однако выполнение указанного неравенства в большинстве отраслей становится все менее вероятным. С одной стороны, стоимость изделий возрастает прогрессирующим образом, а с другой — становится все труднее достичь значимого сокращения эксплуатационных затрат. Это вызвано исчерпанием возможностей развития существующих технологий. Следовательно, в большинстве наукоемких отраслей достижение российскими предприятиями «прорывного» превосходства над зарубежными конкурентами и желаемый выход на занятые конкурентами рынки не могут быть достигнуты благодаря имеющемуся научно-технологическому заделу. Российская наукоемкая промышленность объективно заинтересована в инновациях не потому, что это абстрактно «хорошо», а потому, что вывод на рынки инновационной продукции — необходимое условие выживания в глобальном конкурентном окружении. При исчерпании возможностей традиционных технологий приходит время высокорисковых, радикальных инноваций. Их планирование и реализация обладают рядом важных особенностей. В данной работе предпринята попытка анализа этой специфики с помощью экономико-математического моделирования.

1. РИСКИ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК В НАУКОЕМКИХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Традиционно принято считать, что реализация инновационных проектов, обладающих большой степенью технологической новизны, сопряжена с высокими рисками (см., например, работу [4]). Однако, как показывает изложенный анализ, в

² Разумеется, сравнение по «затратному» критерию корректно лишь для изделий, обеспечивающих сопоставимые результаты применения. Например, энергетическое оборудование можно сравнивать по себестоимости киловатт-часа энергии, дозвуковые пассажирские самолеты — по себестоимости пассажира-километра и т. п.

нынешней ситуации традиционные решения, не обладающие «прорывными» характеристиками, заведомо не обеспечивают объемов спроса на продукцию, достаточных для рентабельной реализации новых проектов, — т. е. традиционные (низкорисковые) технологические решения гарантируют провал. В этих условиях риск, т. е. возможность неблагоприятного исхода³ реализации инновационных решений, неизбежен и, в то же время, вполне приемлем.

Согласно распространенной классификации научно-исследовательских работ (НИР) [6], 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 конкретной отрасли или компании. 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 научно-исследовательского задела определяется в ходе так называемых *поисковых НИР*. Именно их организации в данной работе 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. работу [6]. Но поисковые исследования, нацеленные на поиск «прорывных» решений, могут завершиться успехом⁴ 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 его разработки.

Традиционно первоочередное внимание уделяется первому виду рисков (см., например, работу [4]), однако в наукоемких и высокотехнологичных отраслях именно временной фактор приобретает решающее значение. Эти отрасли промышленности обладают, помимо прочих, следующей важной

³ См., например, определение риска, данное в монографии [5].

⁴ Подчеркнем, что под успехом подразумевается разработка инновационного продукта с заданным (причем, «прорывным») уровнем характеристик — в противном случае, как было отмечено, его создание и вывод на рынок могут быть заведомо бессмысленны.



особенностью. Поскольку в них высока доля квалифицированного труда и операций, слабо поддающихся формализации и автоматизации, сильно проявляется так называемый *эффект обучения*. Он состоит в снижении удельных трудозатрат на единицу продукции с ростом накопленного выпуска и опыта работы. Так, например, в авиастроении удельные трудозатраты падают на 15–20 % при каждом удвоении накопленного выпуска изделий [7]. Данный эффект обуславливает исключительную важность фактора времени вывода новой продукции на рынок. Фирма-лидер успевает к моменту выхода последователей на рынок накопить значительный опыт производства новой продукции и существенно снизить ее себестоимость. Кроме того, продукция лидера уже эксплуатируется на протяжении ряда лет, приобретая дополнительные конкурентные преимущества в глазах потребителей. В итоге фирмы-последователи могут столкнуться с так называемым *эффектом блокировки* [8]: при некотором пороговом запаздывании относительно лидера, им становится бессмысленно выходить на рынок. Жесткая временная конкуренция на рынках высокотехнологичной продукции требует специфических стратегий инновационной деятельности.

2. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИВЕРСИФИКАЦИИ ПОИСКОВЫХ НИР

Традиционно рекомендуется (см., например, работу [6]) сосредоточить усилия и ресурсы компании на наиболее перспективном направлении поисковых исследований. Однако основная проблема состоит в определении такого направления. Даже если бы это было принципиально возможно, выделение приоритетов неизбежно сопряжено с внутрифирменными конфликтами (подробнее см. работу [2]), 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 чрезвычайно неопределенное. 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 числа. Для иллюстрации этого эффекта можно предложить следующую упрощенную модель. Предположим, фирма запустила n поисковых проектов, нацеленных на достижение

«прорывного» превосходства новой продукции над старой. Обозначим τ среднее время достижения успеха (т. е. целевого «прорывного» уровня характеристик перспективной продукции) в единичном поисковом проекте. Тогда можно приближенно считать, что вероятность достижения успеха в течение года равна $1/\tau$, вероятность недостижения успеха — $(1 - 1/\tau)$. Если реализуемые параллельно проекты независимы друг от друга, вероятность того, что ни в одном проекте в течение года не будет достигнуто успеха, равна $(1 - 1/\tau)^n$. Соответственно, вероятность успеха хотя бы одного поискового проекта в течение года равна $[1 - (1 - 1/\tau)^n]$. Естественно, если хотя бы в одном проекте удастся достичь целевого уровня характеристик, вся программа НИР считается успешно завершённой. Таким образом, можно оценить вероятность достижения успеха поисковых НИР ровно через $T_{\text{НИР}}$ лет:

$$P\{T_{\text{НИР}}\} = [1 - (1 - 1/\tau)^n](1 - 1/\tau)^{n(T_{\text{НИР}} - 1)}, \quad (1)$$

поскольку данное событие является сочетанием следующих событий:

- в течение $(T_{\text{НИР}} - 1)$ 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 (1)), можно оценить ожидаемую продолжительность этапа НИР:

$$\bar{T}_{\text{НИР}} = \sum_{T=1}^{+\infty} TP\{T\} = \frac{1}{1 - (1 - 1/\tau)^n}. \quad (2)$$

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: $\frac{\partial \bar{T}_{\text{НИР}}}{\partial n} < 0$.

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 многих наукоемких отраслях российской 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

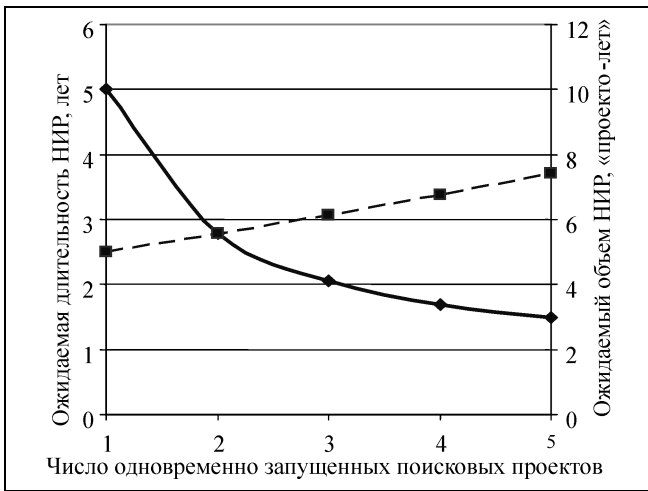


Рис. 1. Влияние диверсификации поисковых исследований на ожидаемую длительность и стоимость НИР:
 —◆— — ожидаемое время завершения НИР; —■— — ожидаемый объем НИР

приведет к успеху. 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 (2), следующим образом:

$$\bar{C}_{\text{НИР}} = c_{\text{проект}} n \bar{T}_{\text{НИР}}(n) = \frac{c_{\text{проект}} n}{1 - (1 - 1/\tau)^n}, \quad (3)$$

где произведение $n \bar{T}_{\text{НИР}}$ 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. 1 рассмотрен следующий пример: $\tau = 5$ лет, т. е. каждое направление поисковых исследований с вероятностью 0,2 приведет к успеху в течение года, а с вероятностью 0,8 — 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 (2). Что касается затрат на НИР, то они, как и было обосновано выше, возрастают медленнее, чем число поисковых проектов: если реализуется единственный проект, ожидаемый объем затрат соответствует 5 «проекто-годам», при двух проектах он возрастет приблизительно до $2 \cdot 2,8 = 5,6$ «проекто-лет», и т. д., согласно формуле (3).

Достижение успеха исследовательского проекта может быть до определенной степени форсировано за счет дополнительного финансирования [6] (т. е. $\frac{\partial \tau}{\partial c_{\text{проект}}} < 0$). Пользуясь предложенной моде-

лью, 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 τ лет, либо ограничиться единственным направлением поиска, но сократить ожидаемый срок достижения результата в n раз за счет дополнительного финансирования. Согласно формуле (2) в первом случае ожидаемая длительность этапа поисковых НИР составит

$$\begin{aligned} \bar{T}_{\text{НИР}}|_{\tau; n} &= \frac{1}{1 - (1 - 1/\tau)^n} = \\ &= \frac{1}{[1 - (1 - 1/\tau)] \sum_{i=1}^n (1 - 1/\tau)^{i-1}} = \frac{\tau}{\sum_{i=1}^n (1 - 1/\tau)^{i-1}}, \end{aligned}$$

$\tau > 1,$

а во втором —

$$\bar{T}_{\text{НИР}}|_{\tau/n; 1} = \frac{1}{1 - (1 - 1/\tau)} = \frac{\tau}{n}.$$

Поскольку при $\tau > 1$, $(1 - 1/\tau) < 1$, $\Rightarrow \sum_{i=1}^n (1 - 1/\tau)^{i-1} < n$, и $\bar{T}_{\text{НИР}}|_{\tau/n; 1} < \bar{T}_{\text{НИР}}|_{\tau; n}$, т. е. ожида-

емая 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 том числе НИОКР) характеризуются убывающей предельной отдачей. Если сокращение в n раз ожидаемого срока достижения успеха в одном проекте требует увеличения ежегодного финансирования проекта в $x > n$ раз, ожидаемые затраты на диверсифицированные НИР составят

$$\begin{aligned} \bar{C}_{\text{НИР}}|_{\tau; n} &= n c_{\text{проект}} \bar{T}_{\text{НИР}}|_{\tau; n} = \\ &= n c_{\text{проект}} \frac{\tau}{\sum_{i=1}^n (1 - 1/\tau)^{i-1}}, \end{aligned}$$

а на форсированные —

$$\bar{C}_{\text{НИР}}|_{\tau/n; 1} = x c_{\text{проект}} \bar{T}_{\text{НИР}}|_{\tau/n; 1} = x c_{\text{проект}} \frac{\tau}{n},$$



и $\bar{C}_{\text{НИР}}|_{\tau; n} < \bar{C}_{\text{НИР}}|_{\tau/n; 1}$ (т. е. диверсификация поисковых исследований приведет к сокращению ожидаемой стоимости НИР) при $x > \frac{n}{\sum_{i=1}^n (1 - 1/\tau)^{i-1}}$.

Также важно учесть, что при диверсификации сокращается риск увеличения длительности НИР сверх ожидаемых значений, и, как следствие, — риск запаздывания выхода на рынок относительно конкурентов.

Разумеется, предлагаемая модель носит чрезвычайно упрощенный характер. В реальности распределение срока достижения успеха проекта может быть существенно сложнее, чем предполагаемый здесь пуассоновский поток⁵ с интенсивностью $1/\tau$. Вообще, как известно специалистам в сфере менеджмента исследований и разработок [1, 4, 6], 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, взаимобмена плодотворными (или ошибочными) идеями и т. п. Поисковые проекты могут запускаться не одновременно, а по мере появления новых перспективных идей (в том числе, 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 том числе, построенных на основе реальных статистических данных), учета взаимосвязей между отдельными параметрами и т. п.

3. МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА НАПРАВЛЕНИЙ ПОИСКОВЫХ НИР

Можно найти оптимальный уровень диверсификации поисковых НИР, при котором повышение ожидаемых затрат на поисковые исследования оправдано выигрышем в описанной выше времен-

⁵ 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.

ной конкуренции. Для этого предлагается следующая модель. Временную 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 за весь жизненный цикл изделий⁶ (ЖЦИ) длительностью $T_{\text{ЖЦИ}}$. Можно считать, что по истечении времени $T_{\text{ЖЦИ}}$ создаваемое сейчас поколение изделий морально устаревает, и на смену ему придет принципиально новое поколение. Важно подчеркнуть, что некорректно вычислять ожидаемые значения объемов продаж, выручки, затрат и прибыли 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 число поисковых проектов, чем его соперник, тем не менее, раньше достигнет успеха. Поэтому предлагается оценивать ожидаемые значения прибыли фирм по следующему алгоритму.

1. Вычислим вероятность того, что фирма A выйдет на рынок в момент T^A , а фирма B — в момент T^B , по следующей формуле:

$$P\{T^A; T^B\} = \begin{cases} 0, T^A < T_{\text{ОКР}}^A + T_{\text{ТПП}}^A + 1, \text{ или} \\ T^B < T_{\text{ОКР}}^B + T_{\text{ТПП}}^B + 1, \\ P\{T_{\text{НИР}}^A = T^A - T_{\text{ОКР}}^A - T_{\text{ТПП}}^A\} \times \\ \times P\{T_{\text{НИР}}^B = T^B - T_{\text{ОКР}}^B - T_{\text{ТПП}}^B\}, \end{cases} \quad (4)$$

где $T_{\text{ОКР}}^A$ и $T_{\text{ОКР}}^B$ — продолжительности ОКР на фирмах A и B ; $T_{\text{ТПП}}^A$ и $T_{\text{ТПП}}^B$ — продолжительности технологической подготовки производства на фирмах A и B вероятности $P\{T_{\text{НИР}}^A\}$, $P\{T_{\text{НИР}}^B\}$ оцениваются по формуле (1) и, соответственно, зависят от числа поисковых проектов, начатых фирмами A и B , n^A и n^B .

2. Оценим, пользуясь какими-либо детерминированными моделями (не рассматриваемыми в данной работе), значения объемов продаж, выруч-

⁶ В силу большой длительности ЖЦИ в наукоемких отраслях необходимо учитывать временную стоимость денег. Поэтому в практических расчетах более корректно использовать вместо прибыли чистую текущую стоимость (NPV, Net Present Value) портфеля проектов фирмы.

ки, 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 : $\{P^A(T^A; T^B)\}$, $\{P^B(T^A; T^B)\}$, $(T^A, T^B) = 1, \dots, T_{\text{жци}}$. Если прибыль какой-либо фирмы при данных значениях (T^A, T^B) окажется отрицательной, проявится описанный ранее 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:

— 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, подробнее см., например, работу [6]).

3. Оценим, учитывая формулу (4), ожидаемые значения прибыли конкурирующих фирм по следующим формулам:

$$\bar{\Pi}^A = \sum_{T^A=1}^{T_{\text{жци}}} \sum_{T^B=1}^{T_{\text{жци}}} \Pi^A(T^A; T^B) P\{T^A; T^B\};$$

$$\bar{\Pi}^B = \sum_{T^A=1}^{T_{\text{жци}}} \sum_{T^B=1}^{T_{\text{жци}}} \Pi^B(T^A; T^B) P\{T^A; T^B\},$$

где значения $\{P^A(T^A; T^B)\}$, $\{P^B(T^A; T^B)\}$ для $T^A, T^B = 1, \dots, T_{\text{жци}}$ определяются в п. 2. Далее можно составить платежные матрицы игроков, состоящие из элементов $\|\bar{\Pi}_{ij}^A\|$ и $\|\bar{\Pi}_{ij}^B\|$, где номер строки соответствует числу поисковых проектов, запущенных фирмой A , а номер столбца — числу направлений НИР фирмы B : $i = n^A, j = n^B$. Равновесием Нэша в описанной биматричной игре является такое сочетание стратегий (n_*^A, n_*^B) , от которого никому не выгодно отклоняться в одностороннем порядке.

Поскольку расчеты по предлагаемым моделям предполагают большой объем вычислений, они были автоматизированы с помощью программы в среде MATLAB. Рассмотрим следующий пример, параметры которого по порядку величины соответствуют реальной временной конкуренции на



Рис. 2. Влияние стоимости финансирования поискового проекта на равновесные стратегии конкурентов

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./год, 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 убыточные проекты, узнавая об успехе конкурента в момент выхода его продукта на рынок.

Поскольку параметры функций затрат обоих игроков одинаковы, равновесие Нэша будет симметричным: $n_*^A = n_*^B = n_*$, $\bar{\Pi}_*^A = \bar{\Pi}_*^B = \bar{\Pi}_*$. Рассмотрим влияние некоторых параметров модели на равновесное число направлений поиска и равновесные значения выигрыша. На рис. 2 изображена зависимость равновесного числа направлений поиска n_* от потребного среднегодового объема финансирования одного проекта $c_{\text{проект}}$. Среднее время достижения успеха в одном проекте τ принято равным 3 годам.

Естественно, чем дешевле обходятся поисковые исследования, тем больше направлений поиска целесообразно реализовать одновременно.

На рис. 3 и 4 изображены зависимости равновесного числа направлений поиска n_* и равновесной прибыли $\bar{\Pi}_*$ от ожидаемого времени достижения успеха в одном проекте τ . Потребный объем финансирования одного проекта $c_{\text{проект}}$ принят равным 500 млн долл./год. Все остальные исходные данные соответствуют предыдущему примеру.

Видно, что возможность диверсификации НИР существенно смягчает последствия увеличения ожидаемого времени достижения успеха — при симметричных стратегиях обеих фирм, их прибыли (маркированная линия) почти не убывают с ростом τ . Для сравнения на рис. 4 приведены значения прибыли игроков в том случае, если фирма *A* реализует единственный поисковый проект (штриховая линия), а ее конкурент, компания *B*, диверсифицирует поисковые НИР оптимальным образом (сплошная линия). 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 временной конкуренции оказывается существеннее ухудшения общих условий работы (т. е. роста τ).

Приведем еще два примера возможного применения предлагаемого модельного подхода.

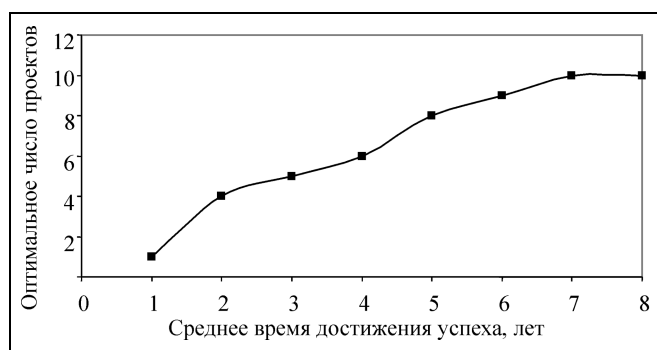


Рис. 3. Влияние среднего времени достижения успеха поискового проекта на равновесные стратегии конкурентов



Рис. 4. Влияние среднего времени достижения успеха поискового проекта на равновесные выигрыши конкурентов: —■— симметричные стратегии фирм *A* и *B*; — — — диверсифицированная стратегия фирмы *A*; — — — диверсифицированная стратегия фирмы *B*

Внедрение новых исследовательских методов и технологий (прежде всего, информационных технологий, компьютерного моделирования вместо натурального эксперимента и т. п.) может привести к сокращению характерного срока достижения успеха τ . Среднегодовая стоимость финансирования каждого поискового проекта $c_{\text{проект}}$ при этом может как сократиться, так и возрасти. Предлагаемые модели позволяют оценить, оправдано ли возможное удорожание НИР выигрышем во временной конкуренции.

Конкурентная разведка позволяет, по меньшей мере, узнать, во скольких направлениях ведется поиск на фирмах-конкурентах, а также об успехах или неудачах этих программ⁷. Благодаря этому фирма может осознать свой проигрыш во временной конкуренции, не дожидаясь выхода продукции лидера на рынок и, таким образом, избежать потерь на продолжение бесперспективной программы. Таким образом, эффективность конкурентной разведки можно оценить, сравнивая равновесный выигрыш в двух случаях: если фирма узнаёт об успехе исследований конкурентов непосредственно по достижении ими этого успеха или только после выхода инновационной продукции на рынок.

Необходимо признать, что практическое применение предлагаемого подхода для вычисления оптимального числа направлений поисковых НИР ограничено и не только потому, что сложно оценить истинный закон распределения сроков достижения успеха. Оптимальный (согласно предлагаемой упрощенной модели) уровень диверсификации поисковых НИР может быть на практике недостижим. Строго говоря, числа направлений поиска n^A и n^B (и, соответственно, размерности платежных матриц) ограничены 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 во многих наукоемких отраслях этот дефицит наблюдается в глобальном масштабе и не может быть преодолен за короткое время никаким увеличением текущего финансирования. Если оптимальное, согласно предложенной модели, число направлений поиска превышает реально возможное, обоснована рекомендация вести поисковые исследования, по возможности, во многих направлениях, а в стратегической перспективе — наращивать исследовательский потенциал компании, инвестируя в подготовку необходимых специалистов.

⁷ Возможность непосредственного использования результатов НИР конкурентов здесь не рассматривается и, как правило, выходит за рамки закона, хотя в реальности промышленный шпионаж, бесспорно, применяется в наукоемких отраслях чрезвычайно активно.

4. АНАЛИЗ РИСКА ПЕРЕРАСХОДА СРЕДСТВ НА НИОКР

Необходимо учитывать, что достижение успеха поисковых НИР носит принципиально случайный характер. Поэтому, пользуясь описанными моделями, можно оценить лишь ожидаемый срок окончания поисковых исследований и ожидаемые затраты. Всегда существует риск отклонения этих величин от ожидаемых значений. 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 [4] в том, что высокотехнологичные инновационные проекты представляют собой сложные саморазвивающиеся системы, развитие которых не поддается детальному планированию на начальных стадиях ЖЦИ. Таким образом, неопределенность затрат на НИОКР, потребных для достижения «прорывного» превосходства новой технологии над нынешними, 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 [4]. Однако эти затраты относятся к постоянным, и при массовом применении новой технологии распределяются на большие объемы продукции. Тогда их вклад в среднюю себестоимость единицы продукции, называемый *средними постоянными затратами*, окажется относительно невелик. Соответственно, риск даже многократного изменения этих затрат не будет существенно влиять на успешность проекта. Важнее достичь гарантированного и значительного, «прорывного» снижения средних переменных затрат (т. е. применительно к изделиям с длительным жизненным циклом — эксплуатационных затрат), поскольку оно, в первую очередь, и определяет возможность массового распространения новой технологии. Также, как было показано, критически важно не допустить, чтобы запаздывание относительно конкурентов превысило критический порог, за которым наступает эффект блокировки [8] и срыв реализации проекта. Возможно, это потребует дополнительных затрат на форсирование НИОКР и ТПП.

Рассмотрим следующий реалистичный пример (рис. 5). В настоящее время важнейшая составляющая эксплуатационных затрат авиакомпаний состоит в затратах на авиатопливо. Современные дальнемагистральные пассажирские самолеты обеспечивают удельный расход топлива в расчете на пассажира-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

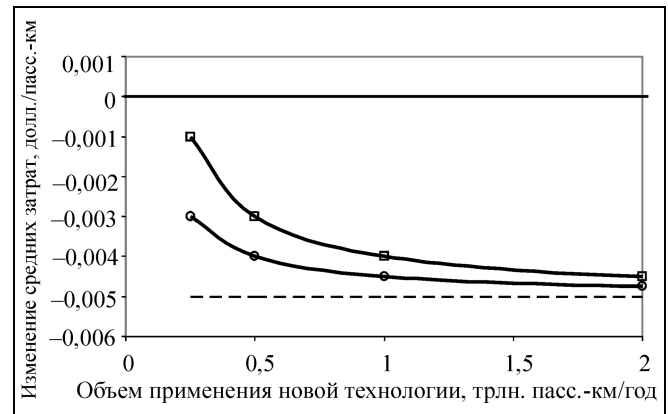


Рис. 5. Влияние риска изменения постоянных затрат на эффективность инновационной технологии:

—○— — общие средние затраты (ожидаемый уровень); —□— — общие средние затраты (пессимистический сценарий); — — — средние переменные затраты (прогноз); — — — исходный уровень средних затрат

предлагается новое технологическое решение, позволяющее сократить удельный расход топлива на дальних маршрутах на 20 % относительно текущего уровня. Однако возможные затраты на доводку новой технологии (в том числе показателей безопасности) до уровня, позволяющего сертифицировать ее для пассажирских перевозок, в настоящее время чрезвычайно неопределенные. 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 в смысле экономической эффективности новой технологии? Если на дальних маршрутах выполняется около 25 % всего пассажирооборота мировой 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 (без учета возможного роста пассажирооборота в будущем). Если длительность жизненного цикла новой технологии равна хотя бы 20 годам (что примерно соответствует длительности жизненного цикла поколения гражданской авиатехники), средние постоянные затраты, вызванные внедрением новой технологии, составят:

— в оптимистическом сценарии — 0,0005 долл./пасс.-км;

— в пессимистическом сценарии — 0,001 долл./пасс.-км.

Однако ожидаемое сокращение удельных топливных затрат составляет, при нынешней цене авиатоплива, 0,005 долл./пасс.-км, что на порядок выше возможного прироста средних постоянных затрат.

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



существенное риска перерасхода средств на НИОКР. Принятие этого положения требует коренных изменений в менталитете инвесторов и менеджеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Потребность российской наукоемкой промышленности в высокорисковых инновационных разработках обусловлена жесткой глобальной конкуренцией, требующей достижения «прорывного» превосходства над зарубежными конкурентами.

На рынках наукоемкой продукции наиболее существенны 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 путем диверсификации поисковых НИР. Для снижения рисков запаздывания и ожидаемой стоимости НИР диверсификация может оказаться эффективнее, чем форсирование НИР путем увеличения объемов финансирования.

Оптимальное число направлений поисковых НИР возрастает по мере увеличения ожидаемой длительности достижения успеха поискового проекта и снижения затрат на финансирование проекта. При увеличении ожидаемой длительности достижения успеха поискового проекта диверсификация направлений поиска позволяет существенно сократить потери прибыли фирмы, вызванные проигрышем во временной конкуренции.

ЛИТЕРАТУРА

1. *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.
2. *Тренев Н.Н.* Предприятие и его структура: анализ, диагностика, оздоровление. — М.: Приор, 2002. — 240 с.
3. *Клочков В.В., Шкадова А.А., Ждановский А.В.* Экономические аспекты морального устаревания техники // *Технология машиностроения*. — 2008. — № 11. — С. 65—70.
4. *Баринов А.Э.* Системные и политические факторы удорожания крупных инвестиционных проектов в мировой экономике // *Проблемы прогнозирования*. — 2007. — № 6. — С. 132—144.
5. *Качалов Р.М.* Управление хозяйственным риском. — М.: Наука, 2002. — 192 с.
6. *Гольдштейн Г.Я.* Стратегический инновационный менеджмент. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. — 267 с.
7. *Alchian A.* Reliability of Progress Curves in Airframe Production // *Econometrica*. — 1963. — Vol. 31, N 4. — P. 679—694.
8. *Arthur Brian W.* Competing Technologies, Increasing Returns and Lock-in by Historical Events // *Economic Journal*. — 1989. — N 99. — P. 116—131.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Р.М. Нижегородцевым.

Иванова Наталья Викторовна — студентка, ГОУ ВПО «Московский физико-технический институт (Государственный университет)», ✉ nata39013@gmail.com,

Клочков Владислав Валерьевич — д-р экон. наук, вед. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН», г. Москва, ☎ (495) 334-79-00, ✉ vlad_klochkov@mail.ru.



2-я Российская конференция с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-10)

18—20 октября 2010 г.,

Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Тематика конференции:

- теория, методы исследования и проектирования, опыт применения технических средств (от датчиков до исполнительных механизмов), основанных на различных физических и схемотехнических принципах;
- теория, алгоритмы и программное обеспечение систем УКИ;
- анализ состояния, тенденций и перспектив развития систем УКИ;
- дискретно-событийные модели в системах УКИ, включая сетевые, логические, на основе размытой логики, сети Петри и др.;
- создание средств систем УКИ на основе новых технологий (микро- и нано-электромеханических и оптоэлектромеханических систем, биомикросистем, беспроводной связи и др.);
- компьютерное и физическое моделирование технических и программных средств систем УКИ;
- многопроцессорные и многомашинные системы как средства систем УКИ, их структуры, отказоустойчивость, диагностируемость;
- теоретические и прикладные аспекты повышения и оценивания качества средств систем УКИ (точности, быстродействия, надежности, отказоустойчивости; живучести, диагностируемости, интеллектуальности и т. д.), метрологическое обеспечение создания и применения средств УКИ, их испытания и сертификация;
- методы проектирования технических и программных средств систем УКИ для работы в экстремальных условиях и применения в специфических областях (атомная энергетика, оборона, космос, транспорт, медицина, горнодобывающая промышленность, окружающая среда и др.);
- исследования и разработка технических и программных средств встроенных, сетевых, проблемно-ориентированных систем УКИ;
- вопросы обучения в области средств УКИ.

URL: <http://cmm.ipu.ru>, ✉ cmm-conf@mail.ru, ☎ (495) 334-93-70.