

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК

С.Г. Чернета, В.Ч. Гончиков*

Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ

*Томский политехнический университет

E-mail: chernetasg@uti.tpu.ru

Рассмотрена необходимость оценки научно-технических разработок на стадии первичного отбора. Предложена модель оценки с целью принятия обоснованного управленческого решения об инвестировании.

Ключевые слова:

Научно-технические разработки, оценка, экономико-математическая модель, управленческое решение, инвестирование.

В Концепции долгосрочного развития России до 2020 г., особое внимание уделяется инновационному пути становления государства. В течение 2008–2012 гг. Россия должна расширить свои конкурентные преимущества в энергетике, транспорте и сельском хозяйстве. В дальнейшем (до 2020 гг.) планируется перейти на новую технологическую базу, что неизбежно приведет к инновационному росту. В этой связи становятся актуальными проблемы отбора, сравнения, оценки рисков научно-технических инновационных разработок в вузах, НИИ и других предприятиях [1].

В данной работе предлагается методика оценки инвестиционной привлекательности, рисков научно-технических инновационных разработок на примере вузов. Эта методика также может быть использована в академических и отраслевых НИИ и различных предприятиях.

Рассматриваемая система имеет подсистему участников инновационной деятельности вуза, элементами которой являются авторы проектов, инвестор, команда исполнителей, команда экспертов, вуз в лице руководства; и подсистему научно-технических разработок. Между элементами-участниками существуют связи в виде финансовых и информационных потоков. Между элементами-разработками нет взаимосвязей, между ними существует конкуренция. Основная цель управления качеством инновационной деятельности в вузе — достижение максимальной эффективности управления, а именно — принятие решения со стороны руководства об инвестировании в действительно перспективную научно-техническую разработку и достижение запланированных показателей по прибыли и времени реализации. Таким образом, возникает необходимость решения двух управленческих задач — задачи о принятии решения инвестирования в ту или иную научно-техническую разработку и задачи оптимальной реализации инновационного проекта.

В связи с тем, что управленческая задача о принятии решения об инвестировании является первоочередной и очень сложной, в работе будет рассмотрено именно ее решение, которое представля-

ет собой формирование информационной базы — основания для принятия оптимального управленческого решения. Этот процесс ориентирован на сбор и подсчет цифровых данных о потенциальных спросе, доходе, затратах, прибыли, срока окупаемости, жизненном цикле продукции и других параметров проекта. В силу высокой неопределенности и невозможности получения точных данных будущей коммерциализации научно-технических разработок, информационная база может содержать высокий процент погрешности, что в свою очередь может привести к менее эффективному управленческому решению. Тем не менее, принятие решения руководителем в абсолютной неопределенности, основанное только на его интуиции, имеет еще большую вероятность получения неэффективного результата [2, 3].

Таким образом, перед руководством стоит сложная многопараметрическая задача, решение которой должно приниматься с учетом двух критериев — прибыль должна стремиться к максимуму, а риск к минимуму, при этом существуют ограничения по сумме инвестиций и сроку окупаемости.

Итак, объектом рассмотрения при решении данной задачи является совокупность научно-технических разработок, представленных в виде инновационных проектов.

Пусть:

Q — совокупность инновационных проектов.

Q_i — инновационный проект, $i = \overline{1, n}$.

X — прибыль, x_i — суммарная прибыль инновационного проекта; $x_{i(t_y)}$ — прибыль в момент времени t_y , $y = \overline{0, t_i}$.

T — период рассмотрения проекта; t_i — период рассмотрения инновационного проекта; t'_i — срок окупаемости; t_y — момент времени в периоде рассмотрения проекта, $y = \overline{0, t_i}$; t_{\max} — максимально допустимый срок окупаемости проекта; $t_i^{\text{жизн}}$ — срок жизненного цикла продукции.

Z — затраты (инвестиции); z_i — затраты на инновационный проект; z_{\max} — максимально допустимая сумма инвестиций; $z_{i(t_y)}$ — сумма затрат в момент времени t_y в периоде рассмотрения T .

R – риск не достичь запланированного результата; r_i – суммарный риск не достичь запланированного результата; r_{ij} – вероятные риски, существующие при реализации, $j=1, m$; $e_{(r_{ij})}$ – степень важности риска для r_{ij} .

P_{opt} – оптимальное решение об инвестировании, принадлежит пространству решений $P=(P_1 * P_2 * \dots * P_i * \dots * P_n)$, где $P_i P_i, i=1, n$.

Учитывая, что наилучшим вариантом будет стремление прибыли к максимуму, а суммарного риска к минимуму, коэффициентом, отражающим это сочетание, будет отношение прибыли к риску, стремящееся к максимуму. Таким образом, функция модели выглядит следующим образом:

$$P_{opt} = \frac{x_i}{r_i} \rightarrow \max$$

при условиях, что срок окупаемости меньше или равен установленному максимальному сроку $t'_i \leq t_{max}$; сумма инвестиций меньше максимально допустимой суммы инвестиций $z_i \leq z_{max}$; период рассмотрения проекта меньше или равен сроку жизненного цикла продукции $t_i \leq t_i^{жэп}$.

Суммарная прибыль представляет собой сумму значений прибыли в моменты времени t_y в рассматриваемом периоде проекта $T, y=0, t_i$ (1). Риск проекта представляет собой сумму произведений оценок всех возможных рисков в ситуациях этого проекта на степень их важности (2):

$$x_i = \sum_{y=0}^{t_i} x_{i(t_y)}, \quad (1)$$

$$r_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} e_{(r_{ij})}. \quad (2)$$

Тогда функцию модели при тех же условиях можно записать следующим образом (3), при выполнении условий (4–6):

$$P_{opt} = \frac{\sum_{y=0}^{t_i} x_{i(t_y)}}{\sum_{j=1}^m r_{ij} e_{(r_{ij})}} \rightarrow \max, \quad (3)$$

$$t'_i \leq t_i^{жэп}; \quad (4)$$

$$t'_i \leq t_{max}; \quad (5)$$

$$z_i \leq z_{max}. \quad (6)$$

Для решения поставленной задачи экономико-математического моделирования был использован аналитический метод решения, т. е. результатом является модель из общих формул. В процессе моделирования был применен метод математического (оптимального) программирования и теория экспертных оценок.

Проводится проверка каждого проекта на выполнение условия $t'_i \leq t_i^{жэп}$. Для определения $t_i^{жэп}$ необходимо рассмотреть жизненный цикл товаров-аналогов или товаров-заменителей, и с учетом

скорости развития техники и технологий определить время жизненного цикла инновационного товара. С учетом разнообразия специфики рассматриваемых инновационных проектов (товаров и услуг) для повышения точности определения $t_i^{жэп}$ целесообразно использовать экспертный метод оценки. Для этого необходимо выбрать определенное количество экспертов $C_k (k=1, b)$ в соответствующей проекту области с квалификацией не ниже кандидата или доктора наук или с опытом работы в этой области не менее N лет. В процессе работы экспертов необходимо обеспечить их независимость друг от друга и анонимность ответов. Полученные результаты от экспертов сводятся в табл. 1, где C_k – номер эксперта, $(k=1, b)$, затем по каждому проекту рассчитывается среднее значение $t_i^{жэп}$ по формуле (7).

Рассчитанное среднее значение $\bar{t}_i^{жэп}$ принимается за установленное значение $t_i^{жэп}$ для дальнейшего исследования инновационного проекта, т. е. $\bar{t}_i^{жэп} = t_i^{жэп}$.

Таблица 1. Экспертная оценка жизненного цикла товара

№ эксперта	Оценка жизненного цикла товара соответствующего проекта		
	$t_1^{жэп}$	$t_i^{жэп}$	$t_n^{жэп}$
C_1	$t_1^{жэп}(c_1)$	$t_i^{жэп}(c_1)$	$t_n^{жэп}(c_1)$
...
C_k	$t_1^{жэп}(c_k)$	$t_i^{жэп}(c_k)$	$t_n^{жэп}(c_k)$
...
C_b	$t_1^{жэп}(c_b)$	$t_i^{жэп}(c_b)$	$t_n^{жэп}(c_b)$
Среднее значение	$\bar{t}_1^{жэп}$	$\bar{t}_i^{жэп}$	$\bar{t}_n^{жэп}$

$$\bar{t}_i^{жэп} = \frac{\sum_{k=1}^b t_{i(c_k)}^{жэп}}{b}. \quad (7)$$

Если предполагаемый срок рассмотрения проекта $t'_i > t_i^{жэп}$, то в процессе доработки бизнес-плана или технико-экономического обоснования необходимо уменьшить t'_i так, чтобы $t'_i \leq t_i^{жэп}$. Если условие $t'_i \leq t_i^{жэп}$ выполняется, производится проверка следующего условия $t'_i \leq t_{max}$.

Для определения t_{max} необходимо рассмотреть зарубежные и отечественные статистические данные успешного инвестирования в инновационные проекты и с учетом экономических и политических условий в стране, в которой планируется реализовывать проект, определить максимально допустимый срок окупаемости для данного вуза. Для повышения точности определения t_{max} целесообразно также использовать экспертный метод оценки. Полученные результаты сводятся в табл. 2, затем рассчитывается среднее значение t_{max} по формуле (8).

$$\bar{t}_{max} = \frac{\sum_{k=1}^b t_{max(c_k)}}{b}. \quad (8)$$

Рассчитанное среднее значение \bar{t}_{max} принимается за установленное значение t_{max} для любого проекта при дальнейшем исследовании, т. е. $\bar{t}_{max} = t_{max}$.

Таблица 2. Экспертная оценка максимально допустимого срока окупаемости проектов t_{\max}

№ эксперта	t_{\max}
C_1	$t_{\max}(c1)$
...	...
C_k	$t_{\max}(ck)$
...	...
C_b	$t_{\max}(cb)$
Среднее значение	\bar{t}_{\max}

Далее необходимо рассчитать срок окупаемости t'_i каждого проекта, удовлетворяющего первому условию. Для этого строится табл. 3 по прибыли и затратам в моменты времени $t_y, y = \overline{1, t'_i}$; с помощью формул (9), (10). Моменты времени t_y целесообразно брать с промежутками месяц, квартал или год.

Таблица 3. Оценка прибыли и затрат

t_y	Статьи затрат	$Z_{i(ty)}$	$d_{i(ty)}$	$x_{i(ty)}$
t_0	НИР, ОКР	$Z_{i(t0)}$	$d_{i(t0)}$	$x_{i(t0)}$
...	Производство			
t_y	Маркетинговые исследования	$Z_{i(ty)}$	$d_{i(ty)}$	$x_{i(ty)}$
...	Патентные исследования			
t_i	Затраты в момент времени t_i	$Z_{i(t_i)}$	$d_{i(t_i)}$	$x_{i(t_i)}$

$$x_{i(t_y)} = d_{i(t_y)} - z_{i(t_y)}, \quad (9)$$

где $x_{i(t_y)}$ – прибыль инновационного проекта в момент времени t_y ; $d_{i(t_y)}$ – доход; $z_{i(t_y)}$ – затраты

$$d_{i(t_y)} = v_{i(t_y)} \cdot c_{i(t_y)}, \quad (10)$$

где $v_{i(t_y)}$ – потенциальный объем продаж продукции инновационного проекта в момент времени t_y , который должен быть меньше или равен величине потенциального спроса на продукцию; $c_{i(t_y)}$ – стоимость продукции, которая должна быть больше своей себестоимости и учитывать стоимость товаров аналогов или товаров заменителей.

Следующий шаг – построение графической зависимости $z_{i(t_y)}, d_{i(t_y)}, x_{i(t_y)}$ (рисунок). По оси ординат – время t_y , по оси абсцисс – $z_{i(t_y)}, d_{i(t_y)}, x_{i(t_y)}$. По точкам таблицы 3 строится график, находится точка пересечения кривых $z_{i(t_y)}, d_{i(t_y)}$, и строится ее проекция на ось ординат. Эта точка будет соответствовать точке безубыточности проекта, а значение оси t_y будет соответствовать сроку окупаемости проекта t'_i . В этой же точке кривая прибыли должна пересечь ось ординат. По расчетным данным инновационных проектов ТПУ построен пример рисунка прибыли и затрат (рисунок).

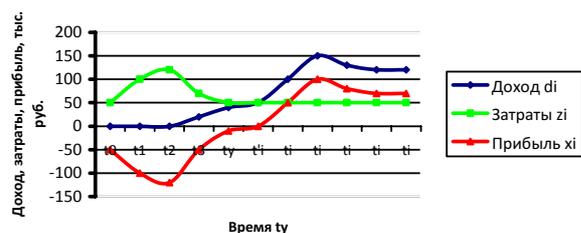


Рисунок. График прибыли и затрат

Если полученное значение $t'_i > t_{\max}$, то проект необходимо дорабатывать, т. е. менять параметры z_i, v_i, c_i в рамках существующих ограничений. Если это невозможно, то проект временно не рассматривается. Если условие $t'_i \leq t_{\max}$, то проводится проверка следующего условия $z_i \leq z_{\max}$.

Максимально допустимая сумма инвестиций z_{\max} устанавливается руководством вуза исходя из его экономического состояния. Сумма инвестиций z_i рассчитывается как сумма затрат до точки безубыточности проекта t'_i и определяется по формуле (11).

$$z_i = \sum_{y=0}^{t'_i} z_{i(t_y)}. \quad (11)$$

Если $z_i > z_{\max}$, то проект необходимо дорабатывать, т. е. менять $z_{i(t_y)}$. Если это невозможно, то проект временно не рассматривается. Если условие $z_i \leq z_{\max}$ удовлетворяется, то можно переходить к решению задачи – поиску оптимального решения об инвестировании.

Прибыль проекта рассчитывается как сумма значений прибыли в моменты времени t_y в рассматриваемом периоде проекта T по формуле (1), данные для которой берутся в табл. 3.

Следующий шаг – оценка рисков r_{ij} и их важность $e_{(ij)}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$, для каждого проекта в отдельности. В условиях высокой неопределенности целесообразно воспользоваться экспертным методом оценки рисков с помощью бальной системы.

По каждому из проектов определяются все возможные риски. Выделяют риски, касающиеся увеличения стоимости проекта, увеличения объема работ, увеличения сроков выполнения проекта; риски неполучения сертификата соответствия на продукцию или лицензии на услугу; риски, связанные с оформлением и распределением интеллектуальной собственности; технические риски – риски, связанные невозможностью осуществления задуманного в проекте. Помимо оценивания рисков экспертам также предлагается оценить важность каждого из рисков для конкретного проекта.

В связи с тем, что спектр рисков в инновационных проектах достаточно широк, их экспертизу целесообразнее было бы проводить не по проектам, а по видам рисков, предлагая группам экспертов в соответствующей области оценить один вид риска по всем проектам. Однако при такой организации возникнут трудности с подбором групп экспертов соответствующей квалификации, что соответственно удорожит процедуру оценки. Поэтому для упрощения организации оценки рисков предлагается подбирать одну группу экспертов для оценки вероятности наступления рисков событий и важность каждого из них для конкретного проекта. Для этого необходимо выбрать определенное количество экспертов $C_k (k = \overline{1, b})$ с квалификацией не ниже кандидата наук в области инновационного менеджмента или экономики, или опыт работы в сфере управления инновациями N лет. В процессе

Таблица 4. Оценка рисков и степени их важности

Проект № эксперта	Q_1	...	Q_i	...	Q_n
C_1	$r_{11}, \dots, r_{1j}, \dots, r_{1m}$ $e_{(r_{11})}, \dots, e_{(r_{1j})}, \dots, e_{(r_{1m})}$	...	$r_{1i}, \dots, r_{1j}, \dots, r_{1m}$ $e_{(r_{1i})}, \dots, e_{(r_{1j})}, \dots, e_{(r_{1m})}$	...	$r_{1n}, \dots, r_{1j}, \dots, r_{1m}$ $e_{(r_{1n})}, \dots, e_{(r_{1j})}, \dots, e_{(r_{1m})}$
...
C_k	$r_{k1}, \dots, r_{kj}, \dots, r_{km}$ $e_{(r_{k1})}, \dots, e_{(r_{kj})}, \dots, e_{(r_{km})}$	...	$r_{ki}, \dots, r_{kj}, \dots, r_{km}$ $e_{(r_{ki})}, \dots, e_{(r_{kj})}, \dots, e_{(r_{km})}$	...	$r_{kn}, \dots, r_{kj}, \dots, r_{km}$ $e_{(r_{kn})}, \dots, e_{(r_{kj})}, \dots, e_{(r_{km})}$
...
C_b	$r_{b1}, \dots, r_{bj}, \dots, r_{bm}$ $e_{(r_{b1})}, \dots, e_{(r_{bj})}, \dots, e_{(r_{bm})}$	...	$r_{bi}, \dots, r_{bj}, \dots, r_{bm}$ $e_{(r_{bi})}, \dots, e_{(r_{bj})}, \dots, e_{(r_{bm})}$	...	$r_{bn}, \dots, r_{bj}, \dots, r_{bm}$ $e_{(r_{bn})}, \dots, e_{(r_{bj})}, \dots, e_{(r_{bm})}$

оценивания необходимо обеспечить независимость экспертов друг от друга и анонимность ответов. Исходя из предложенной функции модели (3), для оценки рисков необходимо использовать шкалу порядка (шкалу ранга). Шкала должна быть положительной, минимальным значением может быть нуль или любое другое положительное число, максимальным значением также может быть любое положительное число. Исключением является шкала от 0 до 1 баллов, т. к. в этом случае функция оптимального решения должна стремиться к минимуму.

Полученные результаты сводятся в табл. 4, затем проводится обработка полученных оценок.

При оценке объектов эксперты обычно расходятся во мнениях по решаемой проблеме, в связи с этим возникает необходимость оценки степени согласованности экспертов. Мерой согласованности оценок экспертов может служить отношение среднеквадратического отклонения к математическому ожиданию случайной величины [4-6]. Количественная мера согласованности мнений экспертов вычисляется с помощью коэффициента конкордации, ур. (12, 13)

$$W = \frac{12}{b^2(m^3 - m)} S, \tag{12}$$

где

$$S = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{k=1}^b r_{ij(c_k)} - \bar{r} \right)^2. \tag{13}$$

При $W=0$ согласованность оценок различных экспертов отсутствует, а при $W=1$ согласованность мнений экспертов полная. При крайних коэффициентах конкордации могут быть даны следующие рекомендации. Если $W=0$, то для получения достоверных оценок следует уточнить исходные данные по проекту и его рискам и (либо) изменить состав группы экспертов. При $W=1$ не всегда можно считать оценки объективными, поскольку может оказаться, что все члены экспертной группы условились придерживаться одинаковых взглядов. Необходимо, чтобы найденное значение W было больше заданного значения W_3 , т. е. ($W > W_3$). Обычно принимается $W_3=0,5$, т. е. при $W > 0,5$, выводы

экспертов согласованы в большей мере (сходятся в оценке событий), чем несогласованы. При $W < 0,5$ оценки нельзя считать в достаточной степени согласованными. При такой слабой согласованности мнений экспертов необходимо провести дополнительные туры экспертных опросов, в которых экспертам предоставляются результаты предыдущего тура.

Аналогично проверке согласованности экспертных мнений по вероятности наступления рискованных ситуаций, проводится проверка согласованности мнений по критерию важности каждого риска для данного проекта по формуле (12). При расчете показателя S по формуле (13) вместо r_{ij} подставляется значение $e_{(r_{ij}(c_k))}$, вместо \bar{r} – значение \bar{e} .

При достаточной степени согласованности мнений экспертов, используя данные табл. 4, рассчитывается среднее значение наступления каждой рискованной ситуации одного проекта по формуле (14). Далее рассчитывается среднее значение важности каждой рискованной ситуации по одному проекту по формулу (15), и затем среднее значение риска по каждому проекту по формуле (16):

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^b r_{ij(c_k)}}{b}, \tag{14}$$

$$e_{(r_{ij})} = \frac{\sum_{k=1}^b e_{(r_{ij}(c_k))}}{b}, \tag{15}$$

$$r_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \times e_{(r_{ij})}. \tag{16}$$

По формуле (3) рассчитывается показатель P по каждому инновационному проекту, затем полученные результаты ранжируются в порядке убывания. Соответственно проект с максимальным значением показателя P будет оптимальным решением данной задачи. Последующие после него проекты могут также финансироваться в порядке приоритетности.

Для оценки перспективности научно-технических разработок в вузе разработана экономико-ма-

тематическая модель, позволяющая решить оптимизационную задачу об инвестировании. Объектом рассмотрения при решении данной задачи является совокупность научно-технических разработок, представленных в виде инновационных проектов. Функция модели представляет собой отношение суммарной прибыли в рассматриваемом периоде к сумме произведения оценок всех возможных рисков ситуаций этого проекта на степень их важности. Для этого должны выполняться следующие условия: срок окупаемости проекта меньше или равен установленному максимальному сроку; сумма инвестиций в проект меньше максималь-

но допустимой суммы инвестиций; период рассмотрения проекта меньше или равен сроку жизненного цикла продукции.

Модель успешно апробирована на ряде научно-технических разработок Томского политехнического университета. Решение поставленной задачи с помощью предложенной модели позволило ранжировать научно-технические разработки по степени их инвестиционной привлекательности и финансировать в порядке приоритетности. Применение предложенной модели позволяет решить одну из задач управления качеством — принять обоснованное стратегически верное решение об инвестировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития науки и инноваций в Российской Федерации на период до 2015 года (утверждена Межведомственной комиссией по научно-инновационной политике 15.02.06). — 2006. — 124 с. [Электронный ресурс] / режим доступа: http://tehnopark.mgupi.ru/modules/wfsection/doc/prog_in_2015.doc. — 30.04.2009.
2. Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. Пер. с англ. — М.: Дело, 2004. — 720 с.
3. Балабанов И.Т. Инновационный менеджмент. — СПб.: Питер, 2001 — 304 с.
4. Надежность технических систем и техногенный риск // Центр стратегических исследований ГЗ МЧС России (Электронное учебное пособие) [Электронный ресурс] / режим доступа <http://csi-mchs.ru/www/posobija/1/8-6.html>. — 30.04.2009.
5. Финансовая математика: математическое моделирование финансовых операций / Под ред. В.А. Половникова и А.И. Пилипенко. — М.: Вузовский учебник, 2007. — 360 с.
6. Орлов А.И. Эконометрика. — М.: Экзамен, 2002. — 120 с.

Поступила 30.04.2009 г.

УДК 005.591.6:519.876.5

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОЛИРЫНОЧНОЙ СТРАТЕГИИ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОГО ТОВАРА

В.А. Семиглазов, А.М. Семиглазов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: vadim@rk.tusur.ru; sam@tu.tusur.ru

Рассмотрен метод снижения реализационных расходов фирмы за счет продажи товаров одновременно на нескольких рынках в количествах, определяемых решением математической модели издержек методом нелинейного программирования с целочисленным решением.

Ключевые слова:

Математическая модель, нелинейное программирование, аппроксимация, реализационные и транспортные издержки, синергия, эластичность, выручка, целевая функция, постоянная времени продаж, полирыночная стратегия, риски продаж.

Снижение реализационных издержек наряду с производственными издержками позволяют фирме увеличить прибыль либо снизить цены на свою продукцию и тем самым увеличить свою конкурентоспособность. В настоящее время фирмы практически исчерпали возможность снижения производственных издержек, потому прилагают дополнительные усилия к снижению реализационных издержек, более плотно занимаются вопросами логистики [1]. Актуальность снижения издержек фирмы существенно увеличивается в условиях мирового финансового кризиса.

Задачей настоящей работы является рассмотрение возможности снижения реализационных издержек фирмы за счет освоения нескольких дополнительных рынков, описываемых нелинейными функциями издержек (полирыночная стратегия).

Решение поставленной задачи осуществляется посредством математического моделирования функционирования совокупности рынков по реализации инновационной продукции.

В основу метода анализа положено нелинейное программирование с целочисленным решением, регрессионный анализ, метод наименьших квадра-