

ВЕРоятностная модель влияния финансирования научного исследования на эффективность инновационного проекта

Е.Н. Шомова

Предложена и исследована математическая модель инновационного проекта, позволяющая оценить зависимость эффективности проекта от объема финансирования научных исследований проекта. Найдены условия существования оптимального финансирования исследовательского этапа работы в рамках инновационного проекта.

Ключевые слова: инновационные проекты, оптимизация финансирования, математическое моделирование, научно-исследовательские работы, эффективность проекта.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое распространение научно-исследовательских работ прикладного характера служит важнейшим средством перехода производственных отраслей российской экономики на инновационную модель развития. Воплощение нового технологического решения в продукте приводит, как правило, к значительному росту ожидаемой прибыли. Успех большинства инновационных проектов напрямую зависит от полноты и качества работ, проводимых на исследовательском этапе.

Связь между затратами на исследования и конечной прибылью компаний химической промышленности исследовалась в работе [1], выявлена статистическая зависимость между ростом объема продаж и уровнем инвестиций в научно-исследовательские работы. Выявлено также положительное влияние увеличения финансирования исследовательских работ на производительность труда [2]. Описанные в работе [3] модели и методы комплексного оценивания научных проектов требуют определения параметров процедур комплексного оценивания, их применение осложняется выбором структуры дерева целей, шкалы оценок и формированием матрицы свертки. Некоторые же исследователи не связывают рост прибыли компании с затратами на исследования [4]. В работах [2, 5, 6] рассмотрены примеры проникновения инноваций в промышленность.

Однако модели, объясняющие механизм влияния прикладных исследований на эффективность инновационного проекта пока еще не разработаны. Поэтому актуальны исследования, направленные на создание аналитических, вероятностных моделей, адекватно описывающих наблюдаемые зависимости между прикладными исследованиями и эффективностью инновационного проекта и обладающие прогностическими свойствами.

1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Предлагаемая в статье модель построена по аналогии с описанным в работе [7] подходом к оценке эффективности процедуры диагностики и контроля качества технических изделий.

Основная цель инновационного проекта заключается в воплощении инновационной идеи в конкретный продукт либо услугу, с возможным получением значительной прибыли. До начала осуществления проекта нет уверенности в возможности (или невозможности) реализации инновационной идеи при существующем технологическом уровне. Иными словами, имеется некоторая вероятность неудачного завершения инновационного проекта, т. е. риск. Эта вероятность связана с принципиальной невозможностью трансформировать инновационную идею (на современном технологическом уровне) в высокодоходный продукт или услугу. Чтобы оценить реализуемость и наметить эффективные пути выполнения проекта, необходимы

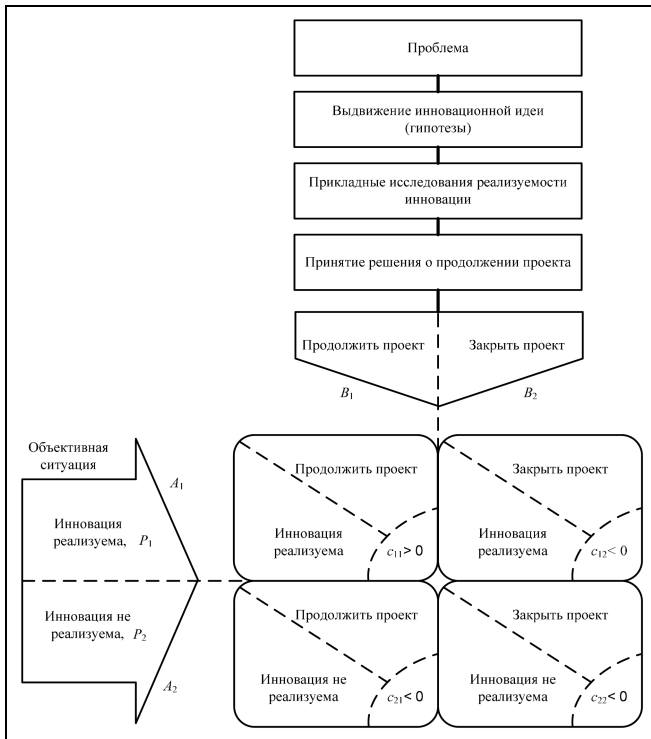


Рис. 1. Вероятностная модель влияния научных исследований на эффективность проекта

прикладные научные, технологические, маркетинговые и другие исследования, которые должны устранить эту неопределенность. Возможность реализации инновационной идеи, с учетом существующих технологических ограничений, подтверждается или опровергается на исследовательском этапе проекта. Срок реализации проекта в данной модели не учитывается. Описанное понимание инновационного проекта схематически иллюстрируется на рис. 1.

Предполагается, что априори возможны две ситуации:

A_1 — инновационная идея принципиально реализуема на достигнутом уровне развития науки и технологии;

A_2 — инновационная идея не реализуема.

Априорная вероятность истинности проверяемой на исследовательском этапе гипотезы обозначается через $P_1 = P(A_1)$, а вероятность ложности гипотезы — через $P_2 = P(A_2) = 1 - P_1$.

Для возможных значений сопутствующей прибыли или убытка на завершающих этапах проекта введем обозначения:

c_{11} — прибыль при правильном решении о продолжении реализации проекта после проведенных исследований;

c_{12} — расходы, связанные с необоснованным (ошибочным) прекращением работ после исследовательского этапа;

c_{21} — убыток на заключительных этапах инновационного проекта, связанный с дальнейшей реализацией проекта по ошибочным выводами прикладных исследований;

c_{22} — расходы, связанные с закрытием проекта после исследовательского этапа при правильном принятии решения о невозможности эффективной реализации всего проекта в целом.

Для каждого из двух априори возможных событий A_1 и A_2 возможны два события, описывающие принятые о судьбе проекта решения: B_1 — принято решение о продолжении инновационного проекта и B_2 — принято решение о прекращении проекта. Таким образом, четыре варианта развития инновационного проекта можно описать следующими пересечениями событий: $A_1 \cap B_1$, $A_1 \cap B_2$, $A_2 \cap B_1$, $A_2 \cap B_2$. Событию $A_1 \cap B_1$, означающему принятию решения о продолжении проекта при реализуемости инновационного проекта, соответствует прибыль c_{11} , а остальным событиям, означающим неудачное завершение проекта, соответствуют убытки c_{12} , c_{21} и c_{22} соответственно (табл. 1). Так как все значения прибыли/убытков учитывают только прямые доходы/расходы, параметр c_{12} не учитывает упущенную выгоду от реализации проекта. Ее предлагается рассчитывать отдельно, согласно работам [8, 9].

Таблица 1

Вероятностная модель проведения научных исследований

Априорные события	Возможные результаты прикладных научных исследований	Пересечение событий	Вероятность наступления события	Значения сопутствующей прибыли/убытка
Инновация принципиально возможна (A_1)	Принято решение о продолжении проекта (B_1)	$A_1 \cap B_1$	$p_{11}(r)$	$c_{11} \geq 0$
	Принято решение о прекращении проекта (B_2)	$A_1 \cap B_2$	$p_{12}(r)$	$c_{12} \leq 0$
Инновация принципиально невозможна (A_2)	Принято решение о продолжении проекта (B_1)	$A_2 \cap B_1$	$p_{21}(r)$	$c_{21} \leq 0$
	Принято решение о прекращении проекта (B_2)	$A_2 \cap B_2$	$p_{22}(r)$	$c_{22} \leq 0$



Математическое ожидание прибыли C инновационного проекта (без учёта расходов на исследование) описывается формулой

$$C = \sum_{i=1,2} \sum_{j=1,2} P(A_i \cap B_j) c_{ij} = \sum_{i=1,2} P_i \sum_{j=1,2} P(B_j|A_i) c_{ij}.$$

Условная вероятность $P(B_1|A_1)$ принятия правильного решения о продолжении проекта (событие B_1) при условии его принципиальной реализуемости (событие A_1) зависит от того, насколько адекватно оценивается перспективность продолжения проекта после выполнения исследований. Чем больше объем и качество исследований, которые зависят от объема r финансирования этих исследований, тем больше вероятность $P(B_1|A_1)$. Далее будем считать, что условная вероятность $P(B_1|A_1)$ является возрастающей функцией $P(B_1|A_1) = p_{11}(r)$ от r . Естественно предполагать, что условная вероятность $P(B_2|A_2)$ принятия правильного решения о прекращении проекта в случае его нереализуемости также является возрастающей функцией $P(B_2|A_2) = p_{22}(r)$. Условные вероятности ошибочных решений определяются по формулам: $P(B_2|A_1) = p_{12}(r) = 1 - p_{11}(r)$ и $P(B_1|A_2) = p_{21}(r) = 1 - p_{22}(r)$.

Формула математического ожидания прибыли инновационного проекта с учётом расходов r на исследование и без учёта времени срока реализации проекта принимает вид:

$$C(r) = \sum_{i=1,2} \sum_{j=1,2} P_i p_{ij}(r) c_{ij} - r, \quad (1)$$

где P_i — априорная вероятность истинности или ложности проверяемой на исследовательском этапе гипотезы; $p_{ij}(r) = P(B_j|A_i)$ — условная вероятность правильности оценки реализуемости инноваций ($p_{12}(r) = 1 - p_{11}(r)$, $p_{21}(r) = 1 - p_{22}(r)$), c_{ij} — возможные значения прибыли или убытка на завершающих этапах проекта.

Априорные вероятности P_1 и P_2 характеризуют принципиальную реализуемость инноваций и не зависят от исследований. Условные вероятности $p_{ij}(r)$ характеризуют правильность оценки реализуемости инноваций и зависят от полноты и тщательности проведенных прикладных исследований, которые, в свою очередь, зависят от объема r финансирования исследований. В работе принято естественное допущение, что с увеличением финансирования исследовательского этапа растут объем исследований и достоверность получаемых результатов. Поскольку область прикладных исследований в рамках проекта ограничена, то у этого роста есть предел, и финансирование исследо-

ваний свыше определенного уровня не приведёт к существенному приросту обоснованности решений о продолжении реализации инновационного проекта после исследовательского этапа.

2. УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ФИНАНСИРОВАНИЯ

В работе [10] анализировался вид функции $C(r)$, в настоящей статье при достаточно общих предположениях о характере зависимостей $p_{11}(r)$ и $p_{22}(r)$ были найдены условия существования максимума ожидаемого дохода $C(r)$ при некотором значении r .

Для более детального исследования функции $C(r)$ необходимы конкретные предположения о характере зависимостей $p_{11}(r)$ и $p_{22}(r)$. По примеру работ [11—17] представляется естественным рассматривать прикладные исследования, проводимые в рамках инновационного проекта, по аналогии с процессами обучения и роста. Кривые обучения имеют вид S-образной кривой, или логистических кривых, например, кривых Перла—Рида или Гомперца, и наглядно отражают развитие процесса исследования. Финансирование прикладных исследований на начальной стадии работ при незначительном научном заделе не приносит существенного результата, являясь по сути подготовительным, накопительным этапом. При достаточном финансировании за подготовительным этапом, как правило, наступает интенсивный рост результативности, характеризующийся максимальной эффективностью инвестиций, сменяющийся стадией зрелости или замедления результативности. Для стадии зрелости характерна существенная изученность исследуемого объекта или явления, позволяющая лишь корректировать полученные ранее результаты и выводы, и наблюдается прогрессирующее замедление отдачи от инвестиций. Поэтому в качестве одного из возможных способов описания вероятностей $p_{11}(r)$ и $p_{22}(r)$ в настоящей работе была принята логистическая функция.

Во многих случаях представляется естественным, что вероятности $p_{11}(r)$ и $p_{22}(r)$ принятия правильного решения в случаях как истинности, так и ложности проверяемой гипотезы равны, и их зависимости от объема r финансирования описываются логистической функцией:

$$p_{11}(r) = p_{22}(r) = p(r) = \frac{p_0}{p_0 + (1 - p_0)e^{-\lambda r}}, \quad (2)$$

где $p_{11}(0) = p_{22}(0) = p_0$ — начальные значения вероятностей правильного принятия решений, λ — параметр, характеризующий форму (наклон) кривой.

С учетом выражения (2) формулу ожидаемого дохода (1) можно преобразовать к виду

$$C(r) = \underbrace{P_1 c_{12} + P_2 c_{21}}_A - r + \underbrace{[P_1(c_{11} - c_{12}) + P_2(c_{22} - c_{21})]}_B p(r). \quad (3)$$

Как было отмечено ранее, величины $c_{12} < 0$ и $c_{21} < 0$ представляют собой убытки в результате неправильно принятых решений о продолжении (прекращении) проекта после исследовательского этапа. Величину $A = P_1 c_{12} + P_2 c_{21} < 0$ можно трактовать как средний убыток при неправильно принятых решениях как в случае принципиальной возможности инновации, так и в противном случае.

Величина $B = P_1(c_{11} - c_{12}) + P_2(c_{22} - c_{21}) > 0$ поскольку $c_{11} > 0$, $c_{12} < 0$ и $c_{21} < c_{22} < 0$. Последнее неравенство выражает тот факт, что убыток c_{21} при попытке продолжения нереализуемого проекта

существенно больше расходов c_{22} на завершение проекта при правильном решении о его закрытии после исследовательского этапа.

Приравнявая к нулю производную функции (3), получим уравнение для нахождения точек экстремума этой функции:

$$-e^{-2r\lambda}(1 - p_0)^2 + (1 - p_0)p_0(B\lambda - 2)e^{-r\lambda} - p_0^2 = 0. \quad (4)$$

Решения этого уравнения:

$$r_{1,2} = -\frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{p_0(B\lambda - 2 \pm \sqrt{B\lambda(B\lambda - 4)})}{2(1 - p_0)} \right). \quad (5)$$

Анализ формулы (5) и знаков производной $C'(r)$ позволяет следующим образом классифицировать виды зависимости эффективности проекта (ожидаемого дохода $C(r)$) от объема финансирования научных исследований (рис. 2).

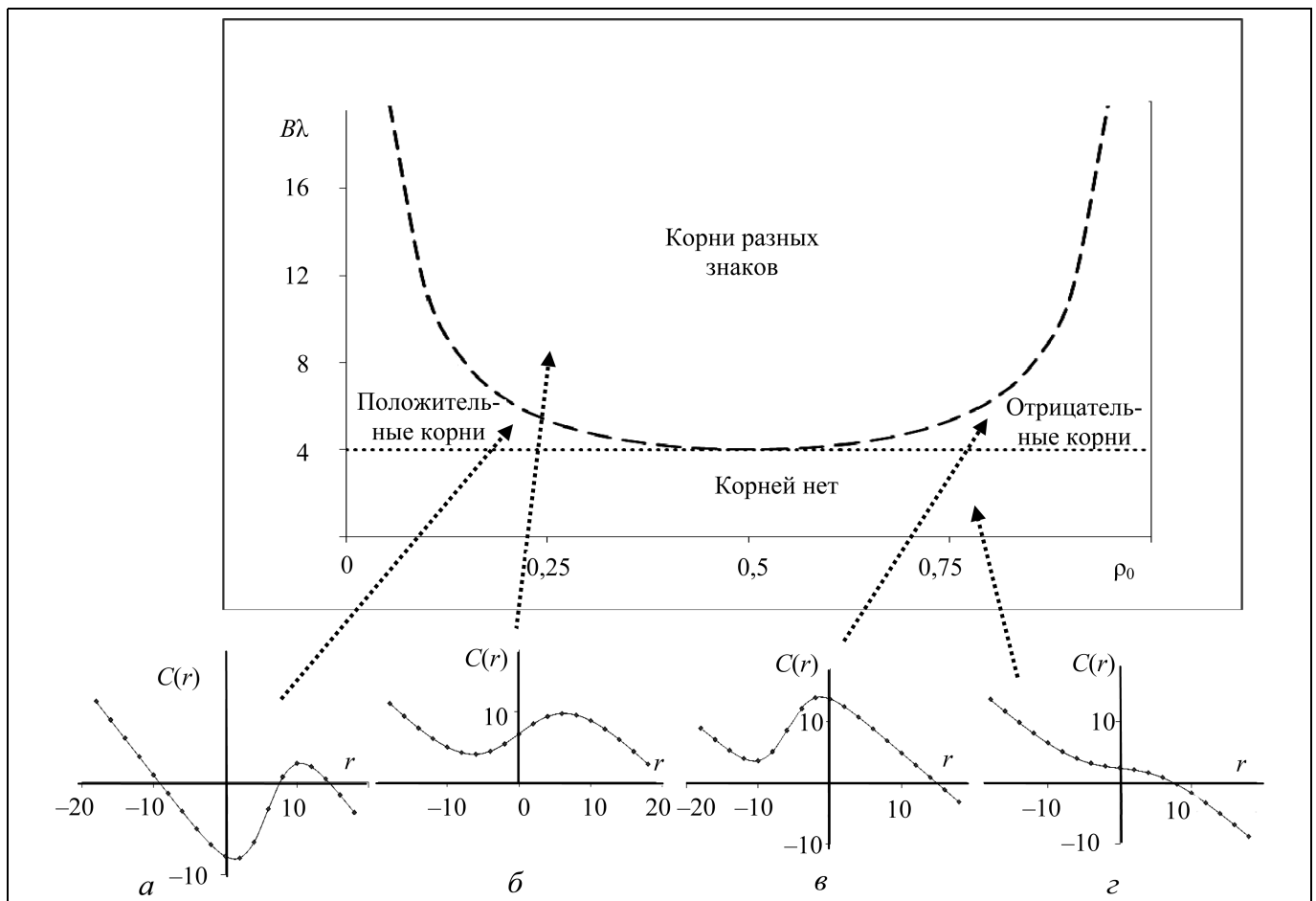


Рис. 2. Классификация видов функции $C(r)$: *a* — достигнутый уровень научно-технических знаний недостаточно высокий; *б* — имеются минимум и максимум прибыли всего проекта; *в* — дополнительные исследования нецелесообразны; *г* — дальнейшие исследования не приводят к увеличению прибыли

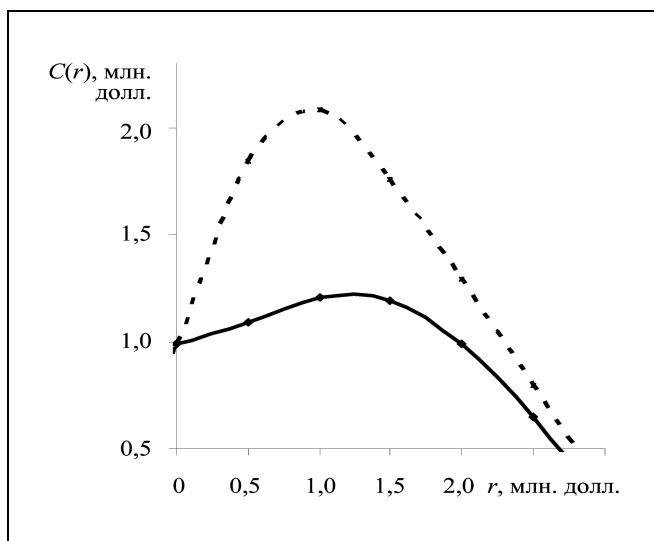


Рис. 3. График функции $C(r)$ для проекта «Nokia 6100»: —◆— — 13,4 млн долл.; - - - - 6,7 млн долл.

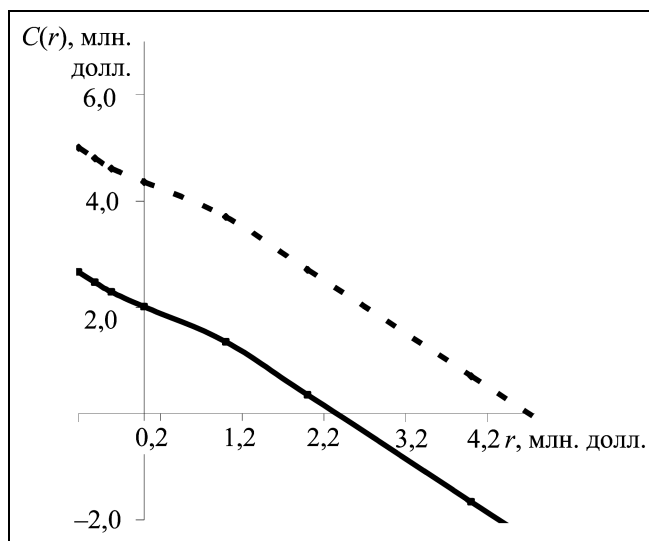


Рис. 4. График функции $C(r)$ для проекта «Nokia 650»: — — — — 6,7 млн долл.; - - - - 13,4 млн долл.

- Оба корня положительные, когда выполняется неравенство $\frac{p_0(B\lambda - 2 + \sqrt{B\lambda(B\lambda - 4)})}{2(1 - p_0)} > 1$ или неравенства $0 < p_0 < 0,5$, $4 < B\lambda < \frac{1}{p_0(1 - p_0)}$, что означает недостаточно высокий уровень научно-технических знаний, достигнутых к началу исследований в данной прикладной области (рис. 2, а).
- Производная $C'(0) > 0$ — существуют два корня разных знаков, соответствующие минимуму и максимуму прибыли всего проекта (рис. 2, б).
- Оба корня отрицательные, если выполняется неравенство $\frac{p_0(B\lambda - 2 - \sqrt{B\lambda(B\lambda - 4)})}{2(1 - p_0)} < 1$ или выполняются неравенства $0,5 < p_0 < 1$; $4 < B\lambda < \frac{1}{p_0(1 - p_0)}$. Это означает, что дополнительные исследования нецелесообразны, пик прироста знаний пройден (рис. 2, в).

- Уравнение (4) не имеет корней, $C'(r) < 0$ для всех r и функция $C(r)$ монотонно убывает с ростом r , т. е. дальнейшие исследования нецелесообразны, поскольку не приводят к увеличению прибыли, проект не является инновационным (рис. 2, г).

4. АПРОБАЦИЯ МОДЕЛИ

Предложенная модель успешно апробирована на реальных инновационных проектах компании «Nokia». Это разработка цифрового мобильного телефона «Nokia 6100» и аналогового мобильного телефона «Nokia 650». Входными данными для модели послужили реальные стоимости этих проектов и экспертные прогнозы. Поиск оптимального финансирования показал следующие результаты: для «Nokia 6100» — это диапазон от 1 до 1,3 млн. долл. (рис. 3), а для «Nokia 650» — он не найден (рис. 4), проект признан не прибыльным. Полученные результаты подтверждают данные о продажах телефонов (табл. 2).

Таблица 2

Данные о проектах «Nokia 6100» и «Nokia 650»

Модель телефона	Стоимость разработки, млн долл.	Средняя цена, долл.	Объем продаж, млн долл.	В продаже, годы	Сеть	Число абонентов сети, млн. чел.		Оптимальная стоимость исследований, млн долл.
						1999 г.	2001 г.	
«Nokia 6100»	6,7—13,4	220	6600	1998—2003	GSM	135	500	1—1,3
«Nokia 650»	6,7—13,4	330	6	1999—2001	NMT-450	1,77	Менее 1	—

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе предложенной модели зависимости эффективности инновационного проекта от объема финансирования научных исследований получены условия существования оптимального объема финансирования исследований. Проведено моделирование, результаты которого полностью согласуются с полученными условиями. Результаты работы позволяют оценить предполагаемую эффективность инновационного проекта на этапе его планирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Brenner M., Rushton V.* Sales Growth and Rand D in the Chemical Industries // *Research Technology Management*. — 1989, March — April. — P. 8—15.
2. *Griliches Zvi.* Productivity, R&D and Basic Research at the firm level in the 1970's // *National Bureau of Economic Research*. — 1986, Jun. — P. 82—99.
3. *Новиков Д.А., Суханов А.Л.* Модели и механизмы управления научными проектами в вузах. — М.: Институт управления образованием РАО, 2005. — 80 с.
4. *Morbey G-K.* R&D expenditures and profit growth // *Research-Technology Management*. — 1989, May — June.
5. *Griliches Z.* Research cost and social returns: Hybrid corn and related innovations // *Journal of Political Economy*. — 1958. — Vol. 66, N 5. — P. 419—431.
6. *Мэнсфилд Э.* Экономика научно-технического прогресса. — М.: Прогресс, 1970. — 238 с.
7. *Акоф Р., Сасиени М.* Основы исследования операций. — М.: Мир, 1971. — 533 с.
8. *Журавлев Ю.В., Прозоровская Л.В., Журавлева Т.Ю.* Методика оценки упущенной выгоды при инвестиционном проектировании // *ИнВестРегион*. — 2008. — № 3. — С. 6—9.
9. *Семенов П.И.* Разработка методов и моделей минимизации упущенной выгоды в задачах управления строительным предприятием при реформировании: дисс. канд. техн. наук. — Воронеж: Воронежский гос. архитектурно-строительный ун-т, 2001.
10. *Шомова Е.Н.* Влияние объема финансирования научных исследований на эффективность инновационного проекта // *Транспортное дело России (Экономика, управление, транспорт)*. — 2010. — № 5. — С. 25—27.
11. *Новиков Д.А.* Закономерности итеративного научения — М.: Институт проблем управления РАН, 1998. — 77 с.
12. *Яблонский А.И.* Модели и методы исследования науки. — М.: Эдиториал УРСС, 2001. — 400 с.
13. *Мартино Дж.П.* Технологическое прогнозирование. — М.: Прогресс, 1977. — 591 с.
14. *Янч Э.* Прогнозирование научно-технического прогресса. — М.: Прогресс, 1970. — 568 с.
15. *Foster R.* Innovation: The Attacker's Advantage. — N.-Y.: Macmillan, 1986. — 316 p.
16. *Modis T.* Forecasting the growth of complexity and change // *Technological Forecasting and Social Change*. — 2002. — Vol. 69, N 4. — P. 377—404.
17. *Van der Erve M.* The Power of Tomorrow's Management. — London: Heinemann, 1989. — Ch. 7.

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

Елена Николаевна Шомова — аспирант, Национальный исследовательский университет — Высшая школа экономики, г. Москва, ✉ Shomova@gmail.com.



**XIII Международная конференция
«Системы проектирования, технологической
подготовки производства и управления этапами
жизненного цикла промышленного продукта
(CAD/CAM/PDM—2013)»**

Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
15—17 октября 2013 г.

Основные направления работы конференции:

- Организация структур технических и программных средств проектирования и управления. Средства взаимодействия, структуры данных, международные стандарты
- Компьютерная графика и CAD/CAM/PDM-системы в учебных процессах (программы обучения по дисциплинам, методические материалы, тестирование). Средства виртуальной реальности в промышленных системах
- Интегрированные производственные системы и управление технологическими процессами. PDM-системы
- Проектирование в машиностроении и строительстве
- Проектирование в радиоэлектронике

Подробная информация о конференции находится на сайте <http://lab18.ipu.rssi.ru>.

Контакты: ✉ conf18@spm.ipu.ru, ☎ (495) 334-93-50, 📠 (495) 334-91-29.

Председатель Оргкомитета — д-р техн. наук Евгений Иванович Артамонов.

Ученый секретарь — канд. техн. наук Сергей Владимирович Смирнов.