

УДК 330.4

Р.В. Шамин<sup>1,2</sup>, А.Г. Шмелева<sup>1,2</sup>, М.В. Шермадини<sup>2</sup>, Э.Б. Юсупов<sup>3</sup>,  
С.Ю. Обыденнова<sup>4</sup>, Т.Д. Морозовская<sup>4</sup>

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИЙ

МИРЭА – Российский технологический университет<sup>1</sup>,  
Российский университет дружбы народов<sup>2</sup>,  
Московская государственная консерватория им. П.И. Чайковского<sup>3</sup>,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>4</sup>

Инновации играют ключевую роль в современной экономике. При этом понятие инновации является описательным и многозначным, в связи с чем возникает задача ее формального определения. Помимо этого, для ранжирования инноваций необходимо располагать их количественной оценкой. В статье представлено формальное определение инноваций в задачах принятия экономических решений. Рассматриваются задачи оптимизации и теоретико-игровые постановки задач. Показано, что можно сформулировать определение инноваций как расширение множества допустимых решений или множества стратегий в играх. Предложенный подход позволяет получить количественную оценку эффективности инноваций. Показана связь между ценностью инноваций и ценностью информации в экономических задачах.

*Ключевые слова:* инновации, количественная оценка ценности, оптимизационные задачи, теория игр, информация.

### Введение

Основой современной экономики является использование инноваций при разработке стратегий развития бизнеса [1]. Инновационная экономика формирует требования и выявляет закономерности развития сложных систем, оценивая качественные показатели внедрения уникальных решений. Определение инновации включает совокупность организационных, технических, технологических идей, реализованную для практического внедрения, обеспечивающую коммерческую эффективность в условиях рыночной экономики. Основными характеристиками инноваций являются научная новизна, степень практической применимости, коммерческая эффективность. Однако направления исследований и существующие модели описания и оценки инноваций основаны на качественных аспектах.

Предметом настоящей статьи является формальное определение инноваций в экономических ситуациях и вопрос о вычислении ценности инновации. Рассмотрим две достаточно общие модели экономических ситуаций. Первая экономическая модель состоит в общей задаче оптимизации, когда необходимо принять определенное решение из множества допустимых решений. Решение принимается таким образом, чтобы максимизировать целевую функцию. Вторая задача является игровой постановкой, когда необходимо сделать выбор собственной стратегии, но результат будет зависеть не только от выбранной стратегии, но и от стратегий, выбранных другими участниками. Обе задачи являются распространенными в экономике.

В рассматриваемых ситуациях под инновациями понимается расширение множества допустимых решений (в первой задаче) и множества стратегий (во второй задаче). Таким образом, инновации в предлагаемой авторами модели могут быть оценены по выигрышу, который увеличивается благодаря применению инноваций. Следовательно, последним можно дать объективную оценку. Вопросы, связанные с фактическим применением инноваций и относящиеся к прикладной области, в настоящей статье не рассматриваются.

Предложенный в статье подход позволяет также оценивать информацию, которая влияет на экономические показатели объекта и открывает возможности для формального оценивания информации в экономике.

Рассмотрим две модельные задачи, для которых применим предлагаемый подход формализации и оценивания эффективности инноваций, и представим формальные модели инновации в оптимизационных задачах и теоретико-игровых постановках.

### Постановка модельных задач

Рассмотрим оптимизационную задачу для некоторого предприятия. Предположим, что это предприятие выпускает два вида продукции, для производства которых используется три вида ресурсов. Через  $A_{ij}$  обозначим количество единиц  $i$ -го ресурса для производства  $j$ -го вида продукции. Обозначим через  $X_i$  объем выпуска  $i$ -го вида продукции. Через  $B_i$  обозначим запас  $i$ -го ресурса. Пусть  $C_i$  есть цена  $i$ -го вида продукции. В этом случае имеем следующую оптимизационную задачу линейного программирования:

$$\begin{aligned} A_{11} X_1 + A_{12} X_2 &\leq B_1, \\ A_{21} X_1 + A_{22} X_2 &\leq B_2, \\ A_{31} X_1 + A_{32} X_2 &\leq B_3, \\ X_1 \geq 0, X_2 &\geq 0. \\ F(X_1, X_2) &= C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2 \rightarrow \max. \end{aligned}$$

Решение этой задачи хорошо известно [2]. Через  $\Phi$  обозначим решение этой задачи (значение целевой функции на оптимальном решении). Рассмотрим влияние инновации на эту задачу.

#### Вариант 1.

Пусть в результате внедрения инновации  $I$  получен результат оценки, что можно более экономно расходовать ресурсы. В этом случае:

$$\begin{aligned} I(B_1) &= B_1', I(B_2) = B_2', I(B_3) = B_3', \\ B_1 &\leq B_1', B_2 \leq B_2', B_3 \leq B_3'. \end{aligned}$$

Обозначим через  $\Phi^I$  оптимальное решение модифицированной задачи. Тогда справедливо соотношение:

$$\Phi^I \geq \Phi.$$

Величина  $\Delta^I = \Phi^I - \Phi$  определяет ценность инновации.

#### Вариант 2.

Пусть в результате появления информации  $I$  можно производить новый вид продукции. Объем выпуска этого вида продукции обозначим через  $X_3$ . Через  $C_3$  обозначим цену этого продукта. Получим следующее расширение оптимизационной задачи:

$$\begin{aligned} A_{11} \cdot X_1 + A_{12} \cdot X_2 + A_{13} \cdot X_3 &\leq B_1, \\ A_{21} \cdot X_1 + A_{22} \cdot X_2 + A_{23} \cdot X_3 &\leq B_2, \\ A_{31} \cdot X_1 + A_{32} \cdot X_2 + A_{33} \cdot X_3 &\leq B_3, \\ X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 &\geq 0. \\ F(X_1, X_2, X_3) &= C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2 + C_3 \cdot X_3 \rightarrow \max. \end{aligned}$$

Обозначая через  $\Phi^I$  решение этой оптимизационной задачи, получаем, что величина  $\Delta^I = \Phi^I - \Phi$  показывает ценность информации в этом случае.

Вторая модельная задача относится к теории игр. Рассмотрим ситуацию, когда две фирмы борются за доли некоторого рынка. Выигрышем в этой игре является доля рынка. Будем предполагать, что эти две фирмы полностью делят рынок. Пусть в результате применения своих стратегий первая фирма получила долю  $p$ , а вторая фирма получила долю  $q$ . По предположению  $p + q = 1$ . В этом случае выигрыш первой фирмы является  $H_1 = p - 0.5$ , а выигрыш второй фирмы равен  $H_2 = q - 0.5$ . В этом случае  $H_1 + H_2 = 0$  и игра является антагонистичной. Предположим, что у первой фирмы есть  $N$  стратегий, а у второй фирмы есть  $M$  стратегий.

Тогда игра задается платежной матрицей  $A = \{a_{ij}\}$ , где  $a_{ij}$  есть выигрыш первой фирмы при стратегиях  $i$  и  $j$ , выбранных первой и второй фирмами.

Такая игра всегда имеет решение в смешанных стратегиях [3]. Обозначим через  $H_1$  выигрыш первой фирмы. Пусть в результате внедрения инновации  $I$  у первой фирмы появляются новые стратегии поведения. Через  $N^I$  обозначим новое количество стратегий. Предполагается, что  $N < N^I$ . Для каждой новой стратегии определяется соответствующий выигрыш. Таким образом, получим новую матрицу  $A^I$  размерности  $N^I \times M$ , элементы которой совпадают с  $A$  при  $1 \leq i \leq N$ . Следовательно, справедливо утверждать, что благодаря инновации получено расширение нашей игры. Через  $H_1^I$  обозначим выигрыш первой фирмы. Следовательно, величина  $\Delta^I = H_1^I - H_1 \geq 0$  выражает ценность инновации в нашем случае.

### Ценность инновации в оптимизационных задачах

Общая постановка оптимизационной задачи может быть сформулирована в следующем виде. Пусть на непустом множестве  $W$  задан функционал  $F$ , принимающий вещественные значения. Будем предполагать, что  $\sup\{F[u]:u \in W\} < \infty$ .

Для заданного множества  $U \subset W$ , которое называется множеством допустимых значений, ставится оптимизационная задача:

$$F^* = \sup\{F[u] : u \in U\}.$$

Предполагая множество  $W$  фиксированным, видим, что оптимальное значение  $F^*$  зависит от функционала  $F$  и выбранного множества допустимых значений  $U$ .

Через  $B(W)$  обозначим множество всех подмножеств множества  $W$ .

Под инновацией в данной оптимизационной задаче можно понимать отображение

$$I : B(W) \rightarrow B(W),$$

удовлетворяющее условию:

$$V \subset I(V), \forall V \in B(W).$$

Следовательно, инновация приводит к расширению множества допустимых значений в оптимизационной задаче. При наличии инновации  $I$  имеем следующую оптимизационную задачу:

$$F^{*I} = \sup\{F[u] : u \in I(U)\}.$$

Поскольку  $U \subset I(U)$ , то имеем  $F^* \leq F^{*I}$ .

Тогда ценность инновации, которая обозначается через  $v(I)$ , определим по следующей формуле:

$$v(I) = F^{*I} - F^*.$$

Значение ценности инновации является размерным и зависит от размерности функционала  $F$ . Например, в экономических задачах это могут быть деньги, время или натуральные величины. Однако это определение позволяет ввести во множестве инноваций предпочтение. Предположим, что инновация  $I_1$  более ценная, чем инновация  $I_2$ , если  $v(I_2) < v(I_1)$ .

Абсолютная инновация – это отображение

$$I_A(U) = W, \forall U \in B(W).$$

Тогда для инновации  $I$  имеет место неравенство  $v(I) \leq v(I_A)$ .

Заметим, что в оптимизационных задачах мы не в праве, вообще говоря, произвольно увеличивать множество допустимых значений  $U$ , поскольку это множество отражает объективные ограничения на возможные решения. Для расширения этого множества необходимо внедрение инноваций [4].

### Инновации в теоретико-игровых моделях

Рассмотрим постановку конечной бескоалиционной игры  $N$  лиц. Будем предполагать, что каждый игрок с номером  $n$  имеет в своем распоряжении  $S_n$  стратегий. Игра происходит

следующим образом: каждый игрок одновременно и независимо друг от друга выбирает по одной стратегии. Таким образом, формируется ситуация в игре, которая представляет собой  $N$ -мерный вектор  $\sigma = (s_1, s_2, \dots, s_N)$ , где  $s_n \in S_n$ .

После выбора стратегий каждый игрок получает свой выигрыш согласно функции выигрыша  $H_n$ , которая зависит от создавшейся ситуации  $H_n = H_n(\sigma)$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ .

В теории игр рассматривается смешанное расширение, когда каждый игрок выбирает не одну какую-нибудь стратегию, а распределение вероятностей на множестве своих стратегий. Если мощность множества  $S_n$  равна  $M_n$ , тогда смешанной стратегией  $n$ -го игрока называется вектор

$$P_n = (p_1, p_2, \dots, p_{M_n}), p_i \geq 0, p_1 + p_2 + \dots + p_{M_n} = 1.$$

Выигрышем для  $i$ -го игрока называется математическое ожидание от функции выигрыша, в которой стратегии всех игроков являются случайными. Теорема Нэша [5] утверждает, что в смешанных стратегиях всегда существует ситуация равновесия  $\sigma^*$ , в рамках которой любому игроку невыгодно отказываться от собственной равновесной стратегии. Таким образом, можно говорить о выигрыше каждого игрока в конечной бескоалиционной игре. Обозначим этот выигрыш через  $V_i$ .

Для каждого множества стратегий  $S_i$  определим некоторое универсальное множество  $R_i$ , такое, что  $S_i \subset R_i$ . Обозначим через  $B(R_i)$  множество всех подмножеств множества  $R_i$ .

Инновацией для  $i$ -го игрока можно называть отображение  $I$

$$I: B(R_i) \rightarrow B(R_i).$$

При этом должно выполняться следующее свойство  $R \subset I(R)$ ,  $\forall R \in B(R_i)$ .

Последнее свойство показывает, что влияние инновации увеличивает набор возможных стратегий для игрока, применяющего инновацию. Предполагаем, что с увеличением множества стратегий каждого из игроков, происходит увеличение значения функции выигрыша для новых стратегий.

Следовательно, можно количественно оценить эффективность инновации в рассматриваемой игровой ситуации:

$$v(I) = V_i^* - V_i,$$

где через  $V_i^*$  обозначен выигрыш  $i$ -го игрока при использовании инновации. С помощью функции  $v$  можно оценивать различные инновации. Определим, что инновация  $I_1$  более ценная чем инновация  $I_2$ , если  $v(I_2) < v(I_1)$ . Абсолютная инновация – это такое отображение  $I_A(R) = R_i$ ,  $\forall R \in B(R_i)$ .

Таким образом, инновации экономической ситуации, описываемой теорией игр, представляют собой расширения спектра возможных стратегий в игре и, соответственно, общий выигрыш.

### Инновации и информация в экономике

Оценка инновации рассматривается как механизм, расширяющий возможности по принятию экономических решений. В реалиях современной экономики в качестве таких инноваций часто выступают ключевые технологические компетенции и новые технологии. Их можно рассматривать как информацию для экономического субъекта. Существующая теория информации направлена на уменьшение неопределенности. Определение ценности информации как количественной меры позволяет снизить неопределенность [6]. Предложенный в работе подход открывает возможности для количественной оценки ценности информации в исследуемых экономических ситуациях как дополнительные возможности для принятия экономических решений. Этот подход является в экономическом смысле более адекватным, поскольку позволяет «в натуральных величинах» оценить наличие новой информации.

## Заключение

В статье представлено формальное определение инноваций в различных экономических задачах, а также дано определение объективной ценности инноваций в тех или иных экономических ситуациях. Предложено определение инновации как расширения множества допустимых решений. С экономической точки зрения, это означает, что инновации позволяют принимать новые решения в экономических задачах. Поскольку расширение множества допустимых значений не уменьшает оптимального решения (в задаче нахождения максимума целевой функции), то использование инноваций приводит к более оптимальным решениям.

Предложенный подход позволяет вычислить объективную ценность инновации в заданной экономической ситуации. При этом есть возможность получить количественную оценку ценности инноваций и решить задачу их ранжирования. Количественная оценка ценности инноваций соответствует конкретной экономической задаче.

Представленный в работе подход продемонстрирован на двух типовых задачах принятия экономических решений: оптимизации и теории игр. Использование данного подхода количественной оценки эффективности инноваций возможно и для экономических задач другого типа. Количественная оценка ценности инновации может быть распространена на количественную оценку ценности информации.

*Представленные результаты получены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-06-00300-а.*

## Библиографический список

1. **Aryal, G.** Exploring innovation creation across rural and urban firms: Analysis of the National Survey of Business Competitiveness. / G. Aryal, J. Mann, S. Loveridge // Journal of Entrepreneurship and Public Policy. – 2018. – Vol. 7, iss. 4. – P. 357-376.
2. **Dantzig, G.B.** Maximization of a Linear Function of Variables Subject to Linear Inequalities, in T.C. Koopmans (ed.). / G.B. Dantzig // Activity Analysis of Production and Allocation. – New York: John Wiley & Sons, 1951. – P. 339-347.
3. **Von Neumann, J.** The Theory of Games and Economic Behavior. / J. Von Neumann, O. Morgenstern. – Princeton: Princeton University Press, 1947. – Chap. 3.
4. **Shamin, R.V.** The Mathematical Model of the Law on the Correlation of Unique Competencies with the Emergence of New Consumer Markets. / R.V. Shamin, A.A. Chursin, L.A. Fedorova // European Research Studies Journal. – 2017. – Vol. 20, iss. 3, pt. A, – P. 39-56.
5. **Nash, J.F.** Equilibrium Points in N-person Games. / J. F. Nash // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 1950. – Vol. 36, № 1. – P. 48-49.
6. **Shannon, C.E.** A Mathematical Theory of Communication. / C.E. Shannon // Bell System Technical Journal. – 1948. – Vol. 27 (July & October). – P. 379-423 & 623-656.

*Дата поступления  
в редакцию: 28.11.2018*

**R.V. Shamin<sup>1,2</sup>, A.G. Shmeleva<sup>1,2</sup>, M.V. Shermadini<sup>2</sup>, E.B. Yusupov<sup>3</sup>,  
S.Yu. Obydenova<sup>4</sup>, T.D. Morozovskaya<sup>4</sup>**

## **INNOVATION EFFECTIVENESS QUANTITATIVE ASSESSMENT**

MIREA – Russian technological university<sup>1</sup>,  
Peoples' friendship university of Russia<sup>2</sup>,  
Moscow state conservatory<sup>3</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev<sup>4</sup>

**Purpose:** The method of value of innovations quantitative assessment is considered.

**Design/methodology/approach:** In this paper, this problem is solved on the basis of optimization theory and game theory.

**Findings:** The proposed concept allow to calculate the innovation objective value in an economic situation.

**Research limitations/implications:** The concept of innovation is descriptive and multivalued, so there is a problem of formal definition of innovation, in addition, for the ranking of innovation is necessary to have a quantitative assessment of innovation.

**Originality/value:** The formal definition of innovation in various economic problems is presented, as well as the definition of the objective value of innovation in the economic situation. The definition of innovation as an extension of the set of acceptable solutions is proposed.

*Key words:* innovations, quantification of value, optimization problems, game theory, information.