

# МОДЕЛИ ПРОДВИЖЕНИЯ ИННОВАЦИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ УНИВЕРСИТЕТАМИ

**В.Ю. Калачёв**

*Южный федеральный университет*  
Россия, 344090, Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8А  
E-mail: vkalachev@sfedu.ru

**Г.А. Угольницкий**

*Южный федеральный университет*  
Россия, 344090, Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8А  
E-mail: gaugolnickiy@sfedu.ru

**А.Б. Усов**

*Южный федеральный университет*  
Россия, 344090, Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8А  
E-mail: abusov@sfedu.ru

**Ключевые слова:** динамические игры, имитационное моделирование, инновации, управление университетами.

**Аннотация:** Рассмотрены разностные иерархические теоретико-игровые модели экономического управления продвижением инноваций в университетах в нормальной и кооперативной форме, в т.ч. на базе олигополии Курно. В качестве основного метода исследования используется имитационное моделирование. Проведён сравнительный анализ эффективности различных видов субсидирования инноваций.

## 1. Введение

Проблемы инновационного развития весьма актуальны и широко освещаются в литературе [1, 2]. В настоящем докладе мы существенно используем два направления этих исследований. В статье [3] рассмотрена статическая теоретико-игровая модель инновационной олигополии Курно, в рамках которой исследуются эффекты конкуренции производителей на рынке инновационного продукта, ограниченности ёмкости этого рынка и существования оптимального числа действующих на нём агентов, дополнительности инновационных технологий, конформного поведения агентов. В статьях [4, 5] построены и исследованы динамические игровые модели олигополии Курно, в которой фирмы инвестируют в дифференциацию продукта. Проведён сравнительный анализ решений в программных и позиционных стратегиях, в частности, сравнение индивидуально оптимального и коллективно оптимального поведения.

Авторский подход к моделированию представлен в работах [6-8]. Рассмотрены дифференциальные и разностные иерархические теоретико-игровые модели экономического управления продвижением инноваций в университетах в нормальной форме и в форме характеристической функции, в т.ч. на базе олигополии Курно. В качестве основного метода исследования используется имитационное моделирование.

## 2. Разностно-игровая модель продвижения инноваций

Новизна предлагаемой постановки задачи заключается в следующем. Во-первых, рассматривается динамическая модель инновационного развития университетов в дискретном времени. Такая постановка задачи в большей степени соответствует графику учебного процесса в ВУЗах. Во-вторых, рассматривается сочетание агрегативной некооперативной игры агентов олигополии с иерархической игрой «Центр-агенты». В третьих, предложено описание изменения параметра функции спроса от действий агентов в форме разностного уравнения. Модель имеет вид:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & J_0 = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n (\pi_{it} - s_{it}) + G_{0T} \rightarrow \max; \\
 (2) \quad & 0 \leq s_{it}; \sum_{i=1}^n s_{it} \leq S; t = 1, 2, \dots, T; \\
 (3) \quad & J_i = \sum_{t=1}^T (\pi_{it} + s_{it}) + G_{iT} \rightarrow \max; \\
 (4) \quad & 0 \leq k_{it} \leq K_{\max}; 0 \leq q_{it} \leq Q_{\max}; i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T; \\
 (5) \quad & D_{t+1} = \frac{D_t}{1 + \sum_{i=1}^n (k_{it} + s_{it})}; D_0 = B; t = 0, 1, \dots, T-1; \\
 (6) \quad & \pi_{it} = p_{it} q_{it} - c_{it} q_{it}^2 - k_{it} \\
 (7) \quad & p_{it} = A - B q_{it} - D_t \sum_{j \neq i} q_{jt} \\
 & G_{iT} = \left( A - B q_{iT} - D_T \sum_{j \neq i} q_{jT} \right) q_{iT} - c_{iT} q_{iT}^2; i = 1, 2, \dots, n; \\
 & G_{0T} = \sum_{i=1}^n G_{iT} = \sum_{i=1}^n \left( A - B q_{iT} - D_T \sum_{j \neq i} q_{jT} \right) q_{iT} - c_{iT} q_{iT}^2;
 \end{aligned}$$

– выигрыши Центра и агентов в момент времени  $T$ ;  $J_0, J_i$  – функционалы выигрыша Центра и агентов соответственно;  $D_t \in [0, B]$  – симметричная степень заменяемости между парой разновидностей курсов. Если  $D_t = B$ , то курсы полностью однородны. Если  $D_t = 0$ , то курсы уникальны и каждый агент является монополистом;  $q_{it}$  – объём выпуска курсов  $i$  – м агентом (первое управление агента);  $C_{it} = c_{it} q_{it}^2$ ,  $c_{it} \in (0, A_{it})$  – общие операционные затраты;  $k_{it}$  – индивидуальные инвестиции  $i$  – го агента в инновационное развитие (второе управление агента),  $K_t$  – общие инновационные инвестиции отрасли,  $K_{\max} = \text{const}$  – максимально возможные инвестиции в инновационное развитие одного агента,  $Q_{\max} = \text{const}$  – максимально возможный объём выпуска курсов одним агентом; функции  $s_{it}$  отражают дотации Центра  $i$  – му агенту на разработку курсов и являются управлением Центра, подлежащим определению;  $S$  – общий объём средств Центра на дотации;  $T$  – длина игры;  $A > 0, B > 0$  – параметры спроса.

Дискретное уравнение динамики (5) можно трактовать как производственную функцию.  $D_t$  – невозрастающая дискретная функция времени, которая приближается к нулю, когда инвестиции стремятся к бесконечности [4, 5].

Посредством имитационного моделирования построено равновесие Нэша в игре агентов и решение общей иерархической игры Центра и агентов. Для исследования модели применена система индивидуальных и коллективных индексов относительной эффективности. В динамике для определения индексов применялось усреднение по множеству вычислительных экспериментов. Как и предполагалось, системы предпочтений для агента и общества в целом противоречивы. Кооперация игроков выгодна для общества в целом и подчинённого (ведомого) игрока. В то же время, для лидера (ведущего игрока) предпочтительнее иерархия с информационным регламентом обратной игры Штакельберга. Более того, у двух несимметричных игроков различно отношение к кооперации: для одного из них она выгоднее независимого поведения, для другого – наоборот.

### 3. Модели олигополии Курно

Здесь базовая модель имеет вид:

$$(8) \quad J_0 = \sum_{t=1}^T [\gamma \bar{x}(t) - \sum_{i=1}^n I(x_i(t)) s_i(t)] + y(T) \rightarrow \max; (9)$$

$$0 \leq s_i(t); \sum_{i=1}^n s_i(t) \leq S; t = 1, 2, \dots, T;$$

$$(10) J_i = \sum_{t=1}^T \left( (D - \alpha \bar{x}(t)) x_i(t) - \frac{x_i^2(t)}{2 \left( r_i + \beta \sum_{j=1}^n r_j I(x_j(t)) \right)} - c_i I(x_i(t)) + s_i(t) I(x_i(t)) \right) \rightarrow \max;$$

$$(11) \quad 0 \leq x_i; i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T;$$

$$(12) \quad \frac{dy}{dt} = \sum_{i=1}^n k_i x_i(t) - m y(t); y(0) = y_0.$$

Здесь  $\{1, \dots, n\}$  – множество конкурирующих по Курно университетов (агентов);  $\bar{x}(t) = \sum_{i=1}^n x_i$ ;  $x_i(t)$  – объём выпуска инновационного продукта  $i$  –м агентом в момент времени  $t$  (управляющие переменные агентов);  $\gamma$  – коэффициент перевода количества разработанных курсов в размер выигрыша ведущего от повышения уровня образования;  $s_i(t)$  – дотации Центра  $i$  –му агенту на разработку курсов, являются управлением Центра, подлежащим определению;  $S(t)$  – годовой бюджет Центра;  $y(t)$  – общий инновационный уровень системы образования;  $D, \alpha, \beta = \text{const}$ ;  $I(x_i(t)) = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i(t) > 0 \\ 0, & \text{если } x_i(t) = 0 \end{cases}$  функция-индикатор;  $D - \alpha \bar{x}(t)$  – цена за произведённый инновационный продукт;  $(D - \alpha \bar{x}(t)) x_i(t)$  – выручка от реализации  $i$  –м агентом разработанных им курсов;  $\frac{x_i^2(t)}{2 \left( r_i + \beta \sum_{j=1}^n r_j I(x_j(t)) \right)}$  – квадратичная производственная

функция  $i$  –го агента;  $D, \alpha, \beta$  – параметры спроса на новые курсы;  $r_i(t)$  – эффективность применения инновационных технологий  $i$  –м агентом;  $c_i$  – общие операционные затраты  $i$  –го агента;  $m$  – коэффициент амортизации;  $y_0$  – общий инновационный уровень системы образования в начальный момент времени;  $\rho$  – коэффициент дисконтирования;  $T$  – длина игры. Предполагается, что агенты имеют полную информацию о действиях конкурентов.

В первой модификации этой модели исследованы разные виды государственного субсидирования инноваций: равномерные субсидии для всех агентов в фиксированный момент времени; субсидии, зависящие от типа агентов (их эффективности); субсидии, зависящие от действий агента. Решение для частного вида входных функций строится аналитически, а в общем случае – численно методом качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования.

Во второй модификации исследована двухуровневая динамическая дискретная кооперативная теоретико-игровая модель управления внедрением инноваций в университетах на основе олигополии Курно. Кооперативная игра описывается в форме характеристических функций Неймана-Моргенштерна, Петросяна-Заккура и Громовой-Петросяна. Исследование проводилось численно, приведены результаты имитационных экспериментов. Для определения выигрышей отдельных агентов используется вектор Шепли. Кооперация выгоднее для Центра, чем для агентов (в смысле роста его выигрыша) для широкого класса входных параметров. Агенты получают значительно больший выигрыш при кооперации в случае слабого спроса на разрабатываемые курсы. Для Центра в кооперативной игре выгоднее использование характеристических функций Неймана-Моргенштерна или Громовой-Петросяна по сравнению с функцией Петросяна-Заккура.

## 4. Заключение

Исследовано семейство разностно-игровых моделей продвижения инноваций в университетах в нормальной форме и в форме характеристической функции различных типов, в т.ч. на основе олигополии Курно. Изучено влияние государственного субсидирования инноваций разного вида (экономического управления). Основным методом исследования было имитационное моделирование, проводились вычислительные эксперименты для случая двух агентов. Идентификация моделей проводилась на базе доступных данных и экспертных оценок. Для анализа результатов использована система индексов индивидуальной и коллективной эффективности, с помощью которой выявлены соответствующие предпочтения. Подтверждена гипотеза о том, что индивидуальные предпочтения агентов не полностью согласованы друг с другом и с коллективными предпочтениями всей системы. Этот факт требует дальнейшего анализа, в частности, влияния коллективных предпочтений на индивидуальные.

## Список литературы

1. Макаров В.Л. Обзор математических моделей экономики с инновациями // Экономика и математические методы. 2009. Т. 45. № 1. С. 3-14.
2. Hakkarainen K. The innovation funnel fallacy // International Journal of Innovation Science. 2014. Vol. 6. No. 2. P.63-72.
3. Бреер В.В., Мирзоян Г.Л., Новиков Д.А. Инновационная олигополия Курно // Проблемы управления. 2015. № 5. С. 45-57.
4. Cellini R., Lambertini L. A differential game approach to investment in product differentiation // J. of Economic Dynamics and Control. 2002. Vol. 27, No. 1. P. 51-62.
5. Cellini R., Lambertini L. Private and social incentives towards investment in product differentiation // International Game Theory Review. 2004. Vol. 6, No. 4. P. 493-508.
6. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Теоретико-игровая модель согласования интересов при инновационном развитии корпорации // Компьютерные исследования и моделирование. 2016. Т. 8, Вып. 4. С. 673-684.
7. Malsagov M.Kh., Ougolnitsky G.A., Usov A.B. A Differential Stackelberg Game Theoretic Model of the Promotion of Innovations in Universities // Advances in Systems Sciences and Applications. 2020. Vol. 20, No. 3. P. 166-177.
8. Kalachev V.Yu., Ougolnitsky G.A., Usov A.B. Difference Stackelberg Game Theoretic Model of Innovations Management in Universities // Contributions to Game Theory and Management. 2022. Vol. 15. P. 96-108.