

Кальний С.В.

кандидат економічних наук, доцент,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Kalnyi Serhii

Taras Shevchenko National University of Kyiv

СТИМУЛЮВАННЯ СУБ'ЄКТІВ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕОРІЇ ІГОР

У статті розглянуто сутність інноваційної системи та участь держави у її створенні. Розкрито напрямки та проблеми реалізації державної інноваційної політики. Зазначено, що проблемою залишається переважне зведення інноваційної політики до її науково-технічної складової за принципом лінійності процесу поширення інновацій. Незважаючи на тенденцію вибудовування інноваційної політики на системній основі, урядові заходи переважно спрямовуються на підтримку дослідницьких організацій. Отже, важливою залишається їх переорієнтація на попит, у тому числі визначення суспільних потреб та обмежень. Досліджено можливості застосування теоретико-ігрових методів прийняття рішень для забезпечення високого рівня об'єктивності та оперативності щодо стимулювання суб'єктів інноваційного процесу. Запропоновано використання ігрового моделювання для багатоеlementної детермінованої дворівневої інноваційної системи із задачею вибору центром функції стимулювання; вирішено задачу стимулювання державою гравців ринку інновацій у загальному вигляді.

Ключові слова: інноваційна система, державна інноваційна політика, ринок інновацій, теорія ігор, ефективність стимулювання.

Постановка проблеми. В умовах глобалізації, стрімкого розвитку технологій, якісних змін матеріально-технічної бази, здійснення державою інноваційної політики потребує особливої уваги, оскільки її слід розглядати як вагомий фактор регулювання соціально-економічного та політичного розвитку країни. Завдання стимулювання попиту на результати науково-технічних досліджень та розробок має вирішуватись за рахунок формування сприятливого інноваційно-інвестиційного середовища, розвитку відповідної інфраструктури, а також регламентації розвитку галузей економіки у напрямку підвищення сприйнятливості щодо досягнень світового науково-технічного прогресу.

У цьому контексті зростає практичне значення ігрового моделювання у якості економіко-математичного інструменту оптимізації поведінки суб'єктів інноваційного процесу. Наявність в учасників економічної діяльності антагоністичних інтересів та потреба в ефективній взаємодії є передумовами для застосування теорії ігор з метою моделювання інноваційних стратегій гравців у межах державної інноваційної політики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми формування та реалізації державної інноваційної політики досліджували Р. Howitt, W. Cohen, D. Levinthal, С. Edquist, Р. Geroski, С. Hollifield, J. Donnermeyer, Е. Rogers, Р. Stoneman, Т. Swan, Ю. Бажал, В. Гець, С. Ілляшенко, Р. Фостер, В. Шапіро, Л. Й. Шумпетер та ін. Дослідженню економічних проблем та ситуацій

на основі теорії ігор присвятили роботи О. Моргенштерн, Дж. Неш, Дж. Харшанья, Р. Зельтен, А. Діксит, Б. Дж. Нейлбафф та ін.

Формування цілей статті. Метою роботи є обґрунтування доцільності застосування теорії ігор у ході розробки державної інноваційної політики.

Визначення сфери застосування ігрового моделювання у даному контексті потребує вирішення наступних завдань:

– розкриття особливостей регулювання поведінки суб'єктів інноваційної діяльності з боку держави на сучасному етапі розвитку інноваційної системи;

– дослідження можливостей ігрового моделювання для багатоеlementної детермінованої дворівневої інноваційної системи із задачею вибору центром функції стимулювання.

Виклад основного матеріалу. Участь держави у розбудові інноваційної системи, перш за все, полягає у створенні інституційної структури. Крім того, заходи регулювання та участь у фінансуванні інноваційного розвитку визначають ступінь участі держави щодо подолання негативних наслідків дії ринкових механізмів. Перспективи інноваційного розвитку можуть розглядатись з врахуванням національних, регіональних чи галузевих інтересів, визначаючи межі інноваційних систем та особливості оцінювання їх функціонування.

На даний час існує низка підходів до визначення структури інноваційної системи, узагальнюючи які

можна виділити наступні складові: а) оцінювання ринкових потреб та потенційних технологічних можливостей, пошук перспективних наукових ідей; б) перевірка базової функціональності та реалістичності втілення наукових ідей в умовах існуючих виробничих можливостей шляхом створення прототипів та проведення початкових тестувань; в) мережа поширення знань та обміну досвідом; г) правове регулювання інноваційних процесів, законодавчі та нормативні акти, що забезпечують сприяння розвитку новітніх технологій, захист авторських прав, ефективна система реалізації патентного права; д) ринки нових та удосконалених продуктів, роздрібні мережі та споживчі стандарти; е) система ефективної мобілізації фінансових та людських ресурсів; ж) інформаційна підтримка нових продуктів на ринку, створення позитивного іміджу інновацій щодо їх ролі у економічному зростанні, подоланні екологічних та соціальних проблем, підвищенні якості життя.

Серед актуальних напрямків державної інноваційної політики: фінансування наукових досліджень в НДІ та університетах, запровадження спеціалізованих, галузевих інноваційних програм, стимулювання створення розгалужених мереж підтримки інноваційної діяльності на рівні органів місцевого самоврядування, що включають надання грантів чи пільгових кредитів, розбудову консультаційних та інноваційних бізнес-інкубаторів.

Загальною проблемою при підтримці інновацій є труднощі оцінювання ефективності окремих заходів в межах інноваційних програм, у тому числі, наскільки покращується результат для підприємств-учасників програм порівняно з підприємствами, що діяли б самотійно, чи не відбувається під впливом держави критичного спотворення ринкової конкуренції, як оцінити втрати від непродуктивного пошуку інвестиційних ресурсів на інновації, а також наскільки соціальні та екологічні вигоди для суспільства переважають фінансові втрати з боку держави.

Державне регулювання слід застосовувати лише там, де виникають так звані додаткові ефекти, інакше внаслідок втручання виникає загроза заміщення або дублювання ринкових функцій [1; 2]. Актуальною є державна ініціація, тобто вкладення стартового капіталу на стадії, коли ризики проєкту високі, тому інші учасники ринку не готові його фінансувати. Однак, відсутність можливостей для запуску інноваційного проєкту може слугувати обґрунтуванням для державної підтримки лише тоді, коли очікувані надходження від інвестицій, що не могли б бути отримані у іншому випадку, здатні покривати витрати на підтримку, адже проєкт з високими ризиками реалізації має характеризуватися високою потенційною прибутковістю.

Існує усталене уявлення щодо важливості державної підтримки інноваційної діяльності, що ґрунтується на ідеї про існування провалів ринку у фінансуванні НДДКР [3]. Суспільні переваги поширення інновацій є суттєвішими за підприємницькі вигоди завдяки поширенню нових знань, отже, приватні інвестиції в НДДКР

завжди будуть нижчими від суспільних потреб. Відсутність ринкової ефективності вимагає втручання уряду для кращого розподілу ресурсів. Оскільки інноваційний процес від НДДКР до впровадження та масового виробництва не є лінійним, поширення інновацій у межах державної підтримки вимагає не лише фінансування НДДКР, а й визначення в інноваційній системі місця інституційної структури: приватних підприємств, університетів, НДІ, фінансових організацій, а також регламентування відносин між ними.

У забезпеченні високого рівня об'єктивності та оперативності щодо стимулювання суб'єктів інноваційного процесу, велику роль відіграють теоретико-ігрові методи прийняття рішень. Апарат теорії ігор широко використовується у математичних моделях управління організаційними системами.

На даний час в економіці найбільш широко застосовується стратегічна форма теоретико-ігрових моделей, а поняття «гри з нульовою сумою» набуло великого поширення. Задаючи корисність в одній формі, можна в будь-якій точці рівноваги отримати суму виграшу, а отже, – визначити верхні та нижні межі точок некооперативної рівноваги та, у підсумку, частку відхилення від кооперативного максимуму [4; 5; 7]. Таке відхилення вказує на потенційний виграш ресурсів при переході на кооперативний тип гри, але у випадку великої різниці такий перехід може замінитись механізмом координації та контролю, що є компромісом між вигодами необмеженої індивідуальної поведінки та високого рівня організації.

Дослідження питань перемовин з різним рівнем інформованості засвідчили важливість наявності в учасника ігрової моделі повної інформації, досвіду та реалістичності сприйняття, що надає перевагу у виграші [7]. Розвиток економіки у напрямку глобалізації створив умови для застосування аналогій, як, наприклад, фізичного методу матеріальних точок для масового ринку, хоча імітаційне моделювання за умови поширення на ринках сучасних тенденцій до індивідуалізації та усвідомленого обмеження є лише одним з рішень для ігрового моделювання (неоднорідних, популяційних моделей).

Загалом інноваційну систему можна розглядати як багатоеlementну детерміновану дворівневу організаційну систему (ОС), що складається з центра та n агентів. Стратегія для кожного агента – це вибір центром функції стимулювання (залежності винагороди кожного агента від його дії та дії інших агентів).

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_n) \in A' = \prod_{j \in N} A_j \text{ – вектор дій агентів;}$$

$$y_{-i} = (y_1, y_2, \dots, y_{i-1}, y_{i+1}, \dots, y_n) \in A_{-i} = \prod_{j \in i} A_j \text{ – обста-}$$

новка гри для i -го агента, де $y \in A_i$ – дія i -го агента; $i \in N = \{1, 2, \dots, n\}$ – множина агентів;

Пріоритети учасників ОС – центра й агентів – виражені їхніми цільовими функціями. Цільова функція центра $f_0(\sigma, y)$ – це різниця між його доходом $H(y)$ та сумою винагороди агентів $v(y)$:

$$v(y) = \sum_{i \in N} \sigma_i(y) \quad (1)$$

де $\sigma_i(y)$ – стимулювання i -го агента;

$\sigma(y) = (\sigma_1(y), \sigma_2(y), \dots, \sigma_n(y))$ – механізм стимулювання.

Цільова функція i -го агента $f_i(\sigma_i, y)$ – це різниця між стимулюванням, отриманим від центра, та витратами $c_i(y)$:

$$f_i(\sigma_i, y) = \sigma_i(y) - c_i(y), i \in N, f_0(\sigma, y) = H(y) - \sum_{i \in N} \sigma_i(y) \quad (2)$$

Індивідуальні витрати та винагороди i -го агента з вибору дії y_i залежать від дії всіх агентів. Порядок функціонування ОС буде наступним: центру та агентам на момент прийняття рішень щодо стратегії (функцій стимулювання та дій) відомі цільові функції та допустимі множини усіх учасників організаційної системи. У центра – право першого ходу, він повідомляє функції стимулювання. Агенти обирають відповідні дії, що максимізують їхні цільові функції. M – множина допустимих систем стимулювання; $P(\sigma)$ – множина рівноважних при системі стимулювання σ стратегій агентів – множина рішень гри (припускаємо, що агенти обирають свої стратегії одночасно, незалежно, без обміну додатковою інформацією та корисністю).

Ефективність стимулювання (ефективність управління) – це максимальне значення цільової функції центра на відповідній множині рішень гри:

$$K(\sigma) = \max_{y \in P(\sigma)} f_0(\sigma, y) \quad (3)$$

Задача синтезу оптимальної функції стимулювання полягає у пошуку допустимої системи стимулювання σ^* , що має максимальну ефективність:

$$\sigma^* \in \text{Arg max}_{y \in M} K(\sigma) \quad (4)$$

Припущення для параметрів ОС задачі стимулювання:

1. $\forall i \in NA_i \subseteq \mathbb{R}_+^1$.
2. $\forall i \in N$ 2.1 функція $c_i(\cdot)$ безперервна за всіма змінними;
- 2.2 $\forall y_i \in A_i$ $c_i(y)$ не спадає по $y_i, i \in N$;
- 2.3 $\forall y \in A' c_i(y) \geq 0$;
- 2.4 $\forall y_{-i} \in A_{-i} c_i(0, y_{-i}) = 0$.
3. Функції стимулювання кусково-неперервні і приймають невід'ємні значення.
4. Функція доходу центра безперервна за всіма змінними та досягає максимуму при ненульових діях агентів.

Якщо стимулювання кожного агента залежить від дій усіх агентів, то визначення множини рівноваги Неша $P_N(\sigma)$ має вигляд:

$$P_N(\sigma) = \{y^N \in A \mid \forall i \in N \forall y_i \in A_i \sigma_i(y^N) - c_i(y_i, y_{-i}^N) \geq \sigma_i(y_i, y_{-i}^N) - c_i(y_i, y_{-i}^N)\}$$

Рівновага у домінантних стратегіях (РДС) $y_d \in A'$ визначається умовою: $y_{id} \in A_i$ – домінантна стратегія i -го агента тоді і тільки тоді, коли:

$$\forall y_i \in A_i, \forall y_{-i} \in A_{-i} \sigma_i(y_{id}, y_{-i}) - c_i(y_{id}, y_{-i}) \geq \sigma_i(y_i, y_{-i}) - c_i(y_i, y_{-i})$$

Фіксуємо довільний вектор дій агентів $y^* \in A'$ і розглянемо наступну систему стимулювання:

$$\sigma_i^*(y^*, y) = \begin{cases} c_i(y_i^*, y_{-i}) + \delta_i, & y_i = y_i^*, \delta_i \geq 0, i \in N. \\ 0, & y_i \neq y_i^* \end{cases}$$

Якщо стимулювання кожного агента залежить від його власних дій, то, зафіксувавши для кожного агента обстановку гри, перейдемо від σ^* до системи індивідуального стимулювання наступним чином: фіксуємо довільний вектор дій агентів $y^* \in A'$ і визначаємо систему стимулювання:

$$\sigma_i^{**}(y^*, y_i) = \begin{cases} c_i(y_i^*, y_{-i}^*) + \delta_i, & y_i = y_i^*, \delta_i \geq 0, i \in N. \\ 0, & y_i \neq y_i^* \end{cases}$$

1) При використанні центром системи стимулювання σ^* вектор дій $y^* \in$ РДС. А якщо $\delta_i > 0, i \in N$, то $y^* \in$ єдиним РДС.

2) При використанні центром системи стимулювання σ^{**} вектор дій $y^* \in$ рівновагою Неша.

3) Вектор оптимальних застосовуваних дій агентів y^* , що виступають у якості параметра в системах стимулювання σ^* і σ^{**} , визначається у результаті вирішення наступної задачі:

$$y^* \in \text{Arg max}_{t \in A'} \{H(t) - \sum_{i \in N} c_i(t)\},$$

а ефективність цих систем стимулювання дорівнює наступній величині:

$$K^* = H(y^*) - \sum_{i=1}^n c_i(y^*) - \delta, \text{ де } \delta := \sum_{i \in N} \delta_i$$

5) Клас (з параметром y^*) систем стимулювання σ^* і $\sigma^{**} \in \delta$ – оптимальним.

З цього випливає, що при використанні системи стимулювання σ^* центр застосовує наступний принцип декомпозиції: він пропонує i -му агенту обрати дію y_i^* за умови компенсації витрат незалежно від того, які дії обрали інші агенти; за умови обрання будь-якої іншої дії винагорода буде дорівнювати нулю. При застосуванні системи стимулювання σ^{**} центр пропонує i -му агенту: обрати дію y_i^* за умови компенсації витрат, вважаючи, що інші агенти обрали відповідні компоненти y_{-i}^* , у випадку обрання будь-якої іншої дії винагорода буде дорівнювати нулю. При використанні такої стратегії, з боку центру відбувається декомпозиція гри агентів.

На даний час проведення єдиної державної політики щодо підтримки інноваційної діяльності підприємств та сприяння поширенню інновацій потребує здійснення моніторингу, аналізу на основі моделювання та обґрунтованого прогнозування. Важливим є також перенесення пріоритетів від заходів прямого кредитування та субсидування у бік сприяння мобілізації місцевих фінансових ресурсів та залучення інвестицій з метою скорочення прямих державних витрат та ефективного застосування ринкового фінансового

механізму [8]. Крім того, актуальним залишається питання інтеграції заходів державної політики щодо інноваційного розвитку та економічної, промислової, освітньої, екологічної політики уряду, а також узгоджене прийняття рішень щодо будь-яких складових інноваційної системи на основі єдиного погляду на перспективи поширення інновацій у контексті задоволення потреб суспільства.

Висновки. В інноваційній системі основою дій уряду є протидія негативним явищам та усунення недоліків функціонування системи, що загрожують недостатніми інвестиціями в НДДКР, обмеженням інноваційної складової виробництва, а також перешкодами в обміні знаннями між учасниками інвестиційного процесу.

У цьому контексті проблемою залишається переважне зведення інноваційної політики до її науково-технічної складової за принципом лінійності процесу поширення інновацій. Незважаючи на тенденцію вибудовування інноваційної політики на системній основі, урядові заходи переважно спрямовуються на підтримку дослідницьких організацій. Отже, важливою залишається їх переорієнтація на попит, у тому числі визначення суспільних потреб та обмежень.

Ускладнення поведінки контрагентів на ринку інновацій та зростання швидкості змін зовнішніх факторів обумовлює потребу у поширенні практичного застосування теорії ігор завдяки її універсальності у використанні положень для всіх видів рішень, на які впливають інші учасники.

Список літератури:

1. Dixit A. K., Nalebuff B. J. (2010). *The Art of Strategy: A Game Theorist's Guide to Success in Business and Life*. W. W. Norton & Company. 512 p.
2. Edquist C. Striving towards a holistic innovation policy in European countries – but linearity still prevails. *STI Policy Review*, 2014. Vol. 5, No 2. p. 1-19.
3. Geroski P. (2000) Models of technology diffusion. *Reserch Policy*. Vol. 29, No 4-5. p. 603-625.
4. Harsanyi J. (1967). Games with Incomplete Information Played by «Bayesian» Players, I-III Part I. *The Basic Model*. *Management Science*, vol. 14, issue 3, p. 159-182.
5. Harsanyi J., Selten R. (2003). *A General Theory of Equilibrium Selection in Games*. The MIT Press Classics. 378 p.
6. Kalnyi S. V., Virchenko V. V. (2018) Peculiarities of diffusion of innovations in the regions of Ukraine. *Financial and credit activity: problems of theory and practice*. Vol. 3, No 26. p. 178-186.
7. Morgenstern O., Neumann J. V. (1980). *Theory of Games and Economic Behavior* Paperback. Princeton University Press. 3 edition. 648 p.
8. OECD. (2014). *OECD rural policy reviews: Innovation and modernising the rural economy*. (148 p.). Paris: OECD Publishing.
9. Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of innovations*. New York: Free Press of Glencoe. 453 p.
10. Stoneman, P. (2010). The diffusion of new technology. I: Hall, B. H., N. Rosenberg (red.) *Handbook of the economics of innovation*, 2. Elsevier. URL: https://ideas.repec.org/h/eec/haechp/v2_733.html

СТИМУЛИРОВАНИЕ СУБЪЕКТОВ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ИГР

В статье рассмотрена сущность инновационной системы и участие государства в ее создании. Раскрыты направления и проблемы реализации государственной инновационной политики. Отмечено, что проблемой остается преимущественное строительство инновационной политики в ее научно-технической составляющей по принципу линейности процесса распространения инноваций. Несмотря на тенденцию выстраивания инновационной политики на системной основе, правительственные меры преимущественно направляются на поддержку исследовательских организаций. Следовательно, важным остается их переориентация на спрос, в том числе определение общественных потребностей и ограничений. Исследованы возможности применения теоретико-игровых методов принятия решений для обеспечения высокого уровня объективности и оперативности стимулирования субъектов инновационного процесса. Предложено использование игрового моделирования для многоэлементной детерминированной двухуровневой инновационной системы с задачей выбора центром функции стимулирования; решена задача стимулирования государством игроков рынка инноваций в общем виде.

Ключевые слова: инновационная система, государственная инновационная политика, рынок инноваций, теория игр, эффективность стимулирования.

STIMULATION OF SUBJECTS OF INNOVATIVE ACTIVITY UNDER GAME THEORY FRAMEWORK

The paper considers innovation system and highlights the following of it's components: assessment of potential technological opportunities; verification of the basic functionality of the implementation of scientific ideas; network of knowledge and experience exchange; legal regulation of innovation processes; markets for new and improved products, retail chains and consumer standards; system of effective mobilization of financial and human resources; information support of new products on the market. The state's participation in the creation of the innovation system, as well as the ways and problems of state innovation policy implementation are revealed. Also pointed out, that the difficulty of assessing the effectiveness of individual measures within innovation programs is a common problem in supporting innovation. The urgent tasks of innovation policy are highlighted: prevention of critical distortion of market competition under the influence of the state, determination of losses from unproductive search for investment resources for innovations, as well as assessment of social and environmental benefits for society as opposed to financial losses of the state. The basis of government policy in the innovation system is counteraction to the negative phenomena and elimination of the system shortcomings, which threaten insufficient investment in R&D, limiting the innovative component of production, as well as obstacles to knowledge exchange between participants of the investment process. Considering this, the problem remains in the predominant reduction of innovation policy to its scientific and technical component due to linearity of the process of dissemination of innovations. Despite the trend to build innovation policy as a system process, government actions are mostly aimed at supporting research organizations. Thus, their reorientation to demand remains important, including the identification of social needs and constraints. Possibilities of application of theoretical and game methods of decision-making for maintenance of a high level of objectivity and efficiency of subjects of innovation process stimulation are investigated. The application of game modeling for a multi-element determined two-level innovation system with the problem of choosing the center of the stimulus function is proposed; the problem of state stimulation of innovation market players in general is resolved. Complication of the behavior of counterparts in the innovation market and increase of the changes of external factors necessitates intensification of game theory application due to its versatility for all types of decisions that can be affected by other participants.

Key words: innovation system, state innovation policy, innovation market, game theory, stimulation efficiency.

DOI: <https://doi.org/10.32838/2523-4803/70-3-11>

УДК 330.3:332.02

Коцко Т.А.

кандидат економічних наук, доцент,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Kotsko Taras

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕКОНОМІКИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПЕРЕХОДУ ДО СТАЛОГО РОЗВИТКУ В УМОВАХ НЕЗАВЕРШЕНОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

У статті розглянуто проблеми формування політики екологізації економіки як важливого інструменту переходу до моделі сталого розвитку в умовах незавершеності трансформаційних процесів. Визначено сутність екологізації, охарактеризовано її вплив на формування передумов сталого розвитку. Розкрито особливості трансформаційних економічних систем та проблеми вибору моделі політики держави в екологічній сфері. Виявлено систему обмежень для ефективної екологізації в умовах незавершеності трансформацій, охарактеризовано її стратегічну важливість. Розглянуто роль екологізації у забезпеченні «зелених трансформацій» та формуванні сектору «зеленої економіки». Обґрунтовано необхідність пошуку можливостей формування механізмів екологізації на основі принципів інтегрованості в механізми економічного розвитку.

Ключові слова: екологізація, сталий розвиток, навколишнє природне середовище, державна економічна політика, «зелена трансформація», «зелене зростання», «зелена економіка».

Постановка проблеми. В умовах тривалого посилення економічних, соціальних та екологічних суперечностей розвитку як окремих країн світу, так і сучасної

цивілізації загалом, забезпечення поступу в напрямі їх подолання розглядається науковою спільнотою через реалізацію принципів концепції сталого розвитку.