УДК 331.021.4

И.Н. Дубина

Теоретико-игровой анализ привлекательности инновационного проекта для его участников

I.N. Dubina

Game-Theoretic Analysis of the Attractiveness of Innovation Project for its Participants

Исследуется проблема формирования творческих коллективов для работы над инновационными проектами и привлечения в проект сотрудников, имеющих необходимые компетенции и квалификацию. Предложены теоретико-игровые модели для анализа условий, при которых возможно сотрудничество в рамках совместного осуществления проекта. Разработанные модели учитывают квалификацию и компетенции участников, а также согласованность их действий при выполнении работы.

Ключевые слова: инновации, инновационный проект, теория игр.

Based on game-theoretic approaches, this paper investigates the problem of the formation of a creative team working on an innovation project. The author suggests mathematical models to analyze employees' motivation to participate in the project and conditions for their cooperation. The developed models take into account the qualification, competence, creative styles and socio-psychological consistency of the participants.

Key words: innovation, innovation project, game theory.

Важным аспектом организации креативно-инновационной деятельности (производства новых и потенциально полезных идей и их последующего применения в различных сферах экономики) является формирование творческих коллективов для работы над инновационными проектами и привлечения в проект сотрудников, имеющих необходимые компетенции и квалификацию. Как правило, участие в проекте связано с определенными издержками, поэтому для привлечения участников и организации их эффективного сотрудничества должна быть выстроена соответствующая система их стимулирования и взаимодействия.

В литературе проблема участия в инновационных проектах часто рассматривается в контексте ситуации, известной как «дилемма узников» и сводится к структуре соответствующей прототипной игры [1–3]. Однако модель «дилемма узников» является значительным упрощением возможного многообразия вариантов взаимодействия участников проектов и существенно ограничивает их стратегические возможности.

В общем виде задача может быть представлена следующим образом. Будем считать, что в организации (отделе, лаборатории и т.д.) n сотрудников, каждый из которых потенциально может внести свой вклад x_i в проект, но участие в проекте связано с определенными издержками c_i и что решение участвовать в проекте могут принять k игроков, $k = 1, \ldots, n$).

Рассмотрим игру

$$M_i = f_i(x_i, X_{k\setminus i}) - c_i(x_i) \to \max_{x_i}, \qquad (1)$$

где M_i – платежная функция i-го игрока; $f_i(\cdot)$ – функция, определяющая результат, получаемый i-тым игроком в зависимости от его активности в проекте и активности других участников, присоединившихся к проекту. Кроме того, данная функция может учитывать согласованность действий участников, синергетический эффект от их взаимодействия и т.д. Вклад участника x_i может формализоваться с учетом квалификации, опыта, способностей и т.д. Следовательно, данная задача является весьма сложной и предполагает возможность широкого спектра вариантов, не сводимых к классической модели «дилемма узников».

Вначале рассмотрим проблему привлекательности проекта в контексте взаимодействия двух участников в инновационном проекте, затем проведем анализ решений об участии в проекте в зависимости от количества и состава участников.

Предположим, что двум сотрудникам компании предложено участвовать в проекте; если оба соглашаются, то их платежи составят p_i, а затраты на участие – c_i, $i = 1,2$. Будем считать, что даже при «фиктивном» участии или отказе от участия одного из игроков проект может быть реализован, при этом платеж игрока, работающего в проекте, составит s_i, а отказавшегося или работающего «фиктивно» – r_i. Формализуем проблему в варианте биматричной игры, которая задается следующей платежной матрицей:

$$\begin{pmatrix} (p_1 - c_1, p_2 - c_2) & (s_1 - c_1, r_2) \\ (r_1, s_2 - c_2) & (0,0) \end{pmatrix}, \qquad (2)$$

где первые чистые стратегии игроков соответствуют их участию в проекте, вторые – их отказу от участия (или «фиктивному» участию). Предполагается, что $p_i \geq s_i \geq r_i \geq 0,\ c_i \geq 0,\ i = 1{,}2$. Если

$$p_i - c_i \geq r_i,\ \ \forall i = 1, 2,, \qquad (3)$$

то игра (2) имеет равновесие Нэша в чистых стратегиях (1, 1), которое будет являться и оптимумом по Парето. Если при этом $c_i \geq s_i,\ \forall i = 1, 2,$ то игра имеет еще одно равновесие Нэша в чистых стратегиях (2, 2), но очевидно, что при условии (3) игроки будут стремиться выйти на стратегии одновременного участия в проекте. При таких условиях игра имеет еще одно решение в смешанных стратегиях (x_1, x_2) (общее решение биматричной игры приведено в [4]):

$$x_j = \frac{c_i - s_i}{p_i - s_i - r_i},$$

где x_i – вероятность выбора i-тым игроком своей первой чистой стратегии (участие в проекте). Это решение показывает, что при отсутствии переговоров (решение принимается синхронно) игроки принимают решение, ориентируясь, в первую очередь, на возможные действия другого участника, а не на собственные результаты от проекта: вероятность участия в проекте тем выше, чем больше разница платежей другого игрока при единичном участии в проекте и при отказе от него ($s_i - r_i$). Поскольку платежи игроков в ситуации равновесия в смешанных стратегиях всегда не больше их платежей в равновесии (1, 1), то (3) и будет являться условием осуществления проекта. В данном случае знак $\geq$ предполагает «благожелательность» игроков [5]. Если данное предположение не выполняется, то условие осуществления проекта: $p_i - c_i > r_i$, $\forall i = 1, 2$.

Ситуация значительно изменяется, если $p_i - c_i < r_i$, т.е. хотя бы у одного из участников появляется стимул «фиктивного» участия или отказа от проекта (при отказе от предположения о «благожелательности» $p_i - c_i \leq r_i$). Это возможно, когда вознаграждение за участие в проекте не зависит (или зависит в незначительной степени) от реального вклада игроков (или игрокам выгоднее осуществлять индивидуальные проекты или участвовать в других проектах). Здесь также возможны несколько случаев:

а) $c_i \leq s_i,\ \ \forall i = 1, 2$ определяет ситуацию, когда в игре есть 2 равновесия Нэша в чистых стратегиях (1, 2) и (2, 1), т.е. выполнение проекта возможно одним из участников, в то время как другой будет уклоняться от участия в нем;

б) $\exists\, i,\ c_i \leq s_i \wedge \exists\, j,\ c_j > s_j$ определяет ситуацию, когда в игре есть 1 равновесие Нэша в чистых стратегиях (1, 2) или (2, 1), т.е. выполнение проекта попрежнему возможно;

в) $c_i > s_i,\ \ \forall i = 1, 2$ определяет ситуацию, известную как «дилемма узников», когда в игре есть одно равновесие Нэша (2, 2), к которому и будут стремиться игроки в бесповторной статической игре, несмотря на наличие оптимума по Парето (1, 1), где каждый из игроков мог бы получить лучший результат; в этом случае осуществление проекта невозможно.

Итак, осуществление проекта возможно в ситуациях, когда

$$p_i - c_i \geq r_i,\ \forall i = 1, 2 \ \text{ или}$$

$$p_i - c_i < r_i,\ c_i \leq s_i,\ \forall i = 1, 2, \text{ или}$$

$$p_i - c_i < r_i,\ \exists\, i,\ c_i \leq s_i \wedge \exists\, j,\ c_j > s_j;$$

и осуществление проекта невозможно, если

$$p_i - c_i < r_i, c_i > s_i,\ \forall i = 1, 2.$$

Таким образом, моделирование проблемы участия в проекте на основе простой биматричной игры показывает, что «дилемма узников», несмотря на частые апелляции к ней как базовой модели кооперирования в инновационных процессах, является лишь частным случаем ситуаций, возникающих при взаимодействии участников инновационных проектов.

Рассмотрим далее, как на решение участвовать в инновационном проекте влияет количество участников. Для конкретизации функции $f_i(x_i, X_{k\setminus i})$ в (1) будем предполагать, что игроки, участвуя в проекте, вносят одинаковый вклад в проект, т.е. стратегическая переменная каждого игрока может принимать значения $x_i = 1$ (участвовать) или $x_i = 0$ (не участвовать); затраты всех игроков на участие в проекте одинаковы ($c_i = c$), а результат, получаемый игроком от участия в проекте, зависит только от числа игроков. Тогда величина $X_{k\setminus i}$ в (1) может быть представлена как

$$X_{k\setminus i} = \sum_{i \neq j} x_i\,. \qquad (4)$$

Функция полезности каждого игрока в (1) должна удовлетворять условиям $M_i(0, 0) = 0$ (при отказе от участия всех игроков каждый получает нулевой платеж) и $M_i(0, k) = f_i(0, k)$ (платеж, получаемый игроком, не участвующим в проекте, в котором уже участвуют k игроков).

Условием участия в проекте является:

$$d_i(k) = M_i(1, k) - M_i(0, k) > 0. \qquad (5)$$

Разность $d_i(k) = M_i(1, k) - M_i(0, k)$ можно рассматривать как стимул для i-го игрока «включаться» в проект, в котором уже k игроков, $k = 1, ..., n - 1$. Принимая во внимание (4) и предполагая идентичность игроков ($f_i(\cdot) = f(\cdot)$ и $c_i(\cdot) = c$), это условие можно переписать как $d(k) = f(k + 1) - c - f(k)$, откуда следует $d'(k) = f'(k + 1) - f'(k)$.

В случае выпуклости $f(\cdot)$ $d'(k) > 0$, т.е. стимул участвовать в проекте возрастает с ростом числа участников. Это может быть связано с синергетическим эффектом взаимодействия сотрудников с разной квалификацией, разными подходами к решению задач и т.д. Например, для $f(k) = ak^2$ условие (5): $a(2k + 1) - c > 0$ и $d'(k) = 2a > 0$. При таких условиях ожидается участие в проекте всех членов команды при $c < a(2k + 1)$.

Если $f(k)$ – функция вогнутая (выпуклая вверх), $d'(k) < 0$, т.е. стимул включаться в проект с ростом числа его участников уменьшается. Это связано с эффектом «убывающей отдачи» инновационной деятельности [6; 7]. Вклад каждого участника улучшает общий результат проекта, но маржинальная отдача уменьшается [6]. Если, например, $f(k) = ak^{1/2}$, то проект обладает привлекательностью для участников, пока $c < a(\sqrt{k+1} - \sqrt{k})$, но стимул участвовать в нем уменьшается при увеличении k, так как $d'(k) = \dfrac{a(\sqrt{k} - \sqrt{k+1})}{2\sqrt{k}\sqrt{k}+1} < 0$. Вероятность уклонения от участия (или, напротив, стремление «фиктивно» участвовать) увеличивается с ростом коллектива (в социальной психологии подобный эффект называется «социальной пассивностью» (social loafing) [8]). Включение дополнительных участников в проект возможно, пока выполняется условие (5).

Более реальный (с практической точки зрения) вариант – это s-образная функция $f(k)$, т.е. вначале командная работа увеличивает дополнительную отдачу с ростом числа участников, но после определенного значения k_c тенденция меняется ($k < k_c$ – выполняются свойства выпуклости, $k > k_c$ – выполняются свойства вогнутости). В этом случае задача заключается в отыскании k_c как оптимального размера проектной группы.

В более общем случае, когда каждый игрок выбирает степень участия в коллективном проекте и когда вклад x_i и квалификация участников различаются, следует ожидать, что решение об участии будет приниматься с учетом этих факторов. Кроме того, требуется учитывать квалификацию, способности, компетенции участников, а также их совместимость в команде.

В психологии и социологии творчества показано, что креативность может характеризоваться как уровнем, так и направленностью, которые в литературе получили название «стили творчества» [9]. Стиль творчества характеризует то, как человек воспринимает проблему и старается решить ее. Творческие стили связаны с базовыми элементами творческого процесса: определение (идентификация) проблемы, ее решение, анализ (оценка) решения. Органичное сочетание стилей позволяет не только повысить эффективность групповой работы. Чем разнообразнее стили, тем более вероятен синергетический эффект в группе.

Эффект, достигаемый от коллективной творческой работы, зависит от уровня и направленности (стилей, подходов) каждого участника, а также от их психологической совместимости (психологической бесконфликтности). Разработаны специальные инструменты для оценки различия стилей и совместимости [9].

Будем считать, что, принимая решение о степени участия в проекте (x_i), каждый игрок соотносит предполагаемый вклад других участников в проект, их квалификацию, компетенции, совместимость, а также возможность своего участия в других проектах. Степень участия в проекте (x_i) можно рассматривать как некий ресурс (например, время), затрачиваемый на данный проект. Для определенности, будем считать, что максимально возможное участие игрока в проекте соответствует единице. С учетом этих предположений модифицируем игру (1):

$$M_i = T_i(x_i, A_n, C_{nn}, S_{nn}, X_{k\setminus i}) + O_i(1 - x_i) \to \max_{x_i}. \quad (6)$$

Здесь $T_i(x_i, A_n, C_{nn}, S_{mn}, X_{k\setminus i})$ – функция, определяющая полезность участия в проекте i-го игрока с учетом ресурса, вложенного другими игроками, компетенцией участников, их совместимостью (отсутствием конфликтности) и взаимодополняемостью, которая определяет синергетический эффект от взаимодействия в группе; A_n – вектор коэффициентов, характеризующих компетенции; C_{nn} и S_{nn} – матрицы совместимости и взаимодополняемости; $O_i(1 - x_i)$ – функция, определяющая полезность участия i-го игрока в других проектах (например, индивидуальном проекте), в которые инвестируется ресурсы, оставшиеся от рассматриваемого проекта $(1 - x_i)$. Параметры s_{ij} характеризуют различие подходов, стилей, знаний, навыков и т.д. игроков i и j, $0 \le s_{ij} \le 1$ (0 – отсутствие различий, 1 – максимальные различия (в используемых инструментах для оценки стилей это максимально возможные значения по применяемым шкалам)). Параметры c_{ij} характеризуют совместимость i-го и j-го игроков в группе, $0 \le c_{ij} \le 1$ (0 – отсутствие конфликтности (полная совместимость в работе), 1 – максимальная конфликтность (полная несовместимость, невозможность совместной работы)).

В [3] предложена модель, в которой синергетический эффект определяется как произведение вклада участников, а его отсутствие определяется простым суммированием инвестированных ресурсов. Следуя такому предложению, конкретизируем (6) для случая двух игроков:

$$\begin{cases} M_1 = q_1(1 - c_{12})[(1 - s_{12})(a_1x_1 + a_2x_2) + s_{12}a_1x_1a_2x_2] + g_1s_{12}(1 - x_1) \to \max\limits_{x_1} \\ M_2 = q_2(1 - c_{12})[(1 - s_{12})(a_1x_1 + a_2x_2) + s_{12}a_1x_1a_2x_2] + g_1s_{12}(1 - x_2) \to \max\limits_{x_2} \end{cases}, \quad (7)$$

где q_i – параметр, определяющий платеж i-го игрока от совместного осуществления проекта; g_i – параметр, характеризующий платеж i-го игрока от выполнения других проектов.

С точки зрения менеджера необходимо определить, при каких условиях (A, S, C, q_i, g_i) может быть получен максимальный результат от осуществления проекта либо, если индивидуальные проекты выполняются в рамках данного подразделения, при каких условиях может быть получен максимальный суммарный результат от индивидуальных и коллективных проектов. Таким образом, рассматриваемая ситуация представляется иерархической игрой, в которой на первом этапе центр подбирает игроков с учетом (A, S, C), затем сообщает им параметры (q_i, g_i), после чего игроки выбирают степень своего участия в проектах. В итоге игра (6) является подыгрой в иерархической игре, решение которой определяется равновесием Нэша в подыграх.

В частности, решение подыгры (7) показывает, что сотрудничество (совместное осуществление проекта) возможно и выгодно, если способности игроков превосходят некоторый пороговый уровень; также существуют пороговые уровни по конфликтности и стилям. Таким образом, предложенная модель позволяет определять условия для сотрудничества при осуществлении инновационных проектов с учетом ресурсов, способностей, различий в компетенциях, конфликтности. Комплементарность (взаимодополняемость, различие в стилях, междисциплинарность и т.п.) является важным и необходимым фактором, определяющим решение участвовать в проекте и его успешность.

Библиографический список

1. Arend R.J., Seale D.A. Modeling alliance activity: an iterated Prisoners' Dilemma with exit option // Strategic Management Journal. – 2005. – Vol. 26.

2. Bergfeld M.M., Doepher B. Innovation in outsourcing alliances: managing the Prisoner's Dilemma of cooperative competence building // Proceedings of the XX International Society for Professional Innovation Management Conference – The Future of Innovation. – Vienna, 2009.

3. Takai S. A Game-Theoretic Model of Collaboration in Engineering Design // Journal of Mechanical Design. Journal of Mechanical Design. – 2010. – Vol. 132.

4. Дубина И.Н. Основы теории экономических игр. – М., 2010.

5. Новиков Д.А., Иващенко А.А. Модели и методы организационного управления инновационным развитием фирмы. – М., 2006.

6. Heijnen P. On the probability of breakdown in participation games // Social Choice Welfare. – 2009. – No. 32.

7. Cellini R., Lambertini L. The Economics of Innovation: Incentives, Cooperation and R&D Policy. – Emerald, 2008.

8. Diehl M. and Stroebe W. Productivity Loss in Brainstorming Groups: Toward the Solution of a Riddle // Journal of Personal and Social Psychology. – 1987. – Vol. 53, No. 3.

9. Дубина И.Н. Управление творчеством персонала в условиях инновационной экономики. – М., 2009.