СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВНЕДРЕНИЕМ ИННОВАЦИЙ

Д.Л. Нинидзе, А.Б. Усов

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

davidnin@mail.ru, tol151968@yandex.ru

Аннотация. Исследуется математическая модель согласования частных и общественных интересов при внедрении инноваций. Под инновациями в широком смысле понимается прибыльное использование новшеств в виде новых технологий, видов продукции и услуг, организационно-технических и социально-экономических решений производственного, финансового, коммерческого, административного или иного характера. Основная задача математического моделирования согласования частных и общественных интересов в моделях продвижения инноваций заключается в том, чтобы определить подходящую стратегию продвижения инноваций при условии получения максимального дохода лицами, продвигающими инновации. Агент продвигает инновации, за что получает доход от производства от супервайзера, но при этом имеет личные расходы во время внедрения. Кроме того, агент имеет свой частный интерес, а именно, занимается сторонней деятельностью, не связанной с продвижением инноваций, которая также приносит ему доход. В модели используется побуждение, при котором супервайзер воздействует на целевую функцию агента. Задача исследуется аналитически. В результате исследования получены результаты.

Ключевые слова: супервайзер, агент, внедрение, инновации, доход

Под инновациями в широком смысле понимается прибыльное использование новшеств в виде новых технологий, видов продукции и услуг, организационно-технических и социально-экономических решений производственного, финансового, коммерческого, административного или иного характера. Инновации влияют на структуру производственных предприятий в стране, на уровень развития общества. Внедрение инноваций требует перестройки сложившегося производства, переподготовки работников, капитальных затрат и одновременно связано с риском не потерпеть убытки и получить необходимый результат. Государство заинтересовано в регулировании инновационных процессов в стране. Оно определяет перечень крупных компаний, которые должны разрабатывать и реализовывать Программы инновационного развития (ПИР). Для успешной реализации ПИР необходим комплексный подход, одной из составляющих которого является построение и исследование различных моделей управления. Работ, посвященных этой проблеме, к сожалению, недостаточно для выработки эффективной стратегии по внедрению инноваций. Отметим работы [1–4].

В [1] анализируется модель финансирования инноваций; в [2] рассматривается производственно-транспортная модель машиностроительного предприятия по внедрению нового оборудования; в [3] строится теоретико-игровая модель согласования интересов при инновационном развитии корпорации; в [4] исследуется комплексная системно-динамическая модель рыночной диффузии инновационного продукта.

1. Постановка задачи

Основная задача математического моделирования согласования частных и общественных интересов в моделях продвижения инноваций заключается в том, чтобы определить подходящую стратегию продвижения инноваций при условии получения максимального дохода лицами, продвигающими инновации. Агент продвигает инновации, за что получает доход от производства от супервайзера, но при этом имеет личные расходы во время внедрения. Кроме того, агент имеет свой частный интерес, а именно, занимается сторонней деятельностью, не связанной с продвижением инноваций, которая также приносит ему доход. В модели используется побуждение, при котором супервайзер воздействует на целевую функцию агента.

Предлагаемая ниже модель основана на результатах работы [5], в которой рассмотрена универсальная модель устойчивого развития организационных систем.

Целевые функции супервайзера и агента отражают их доходы в общем виде.

– супервайзера (ведущего)

$$J_0(v, u) = x(k(v, u)) - f(v) - z(u) \rightarrow \max_u, \quad (1)$$

– агента (ведомого)

$$J_1(v, u) = g(v) + y(k(v, u)) - h(v) \rightarrow \max_v, \quad (2)$$

Здесь u – ресурсы (деньги) супервайзера, которые он тратит для внедрения инноваций; v – время, которое затрачивает агент на внедрение инноваций; $k(v, u)$ – уровень внедрения инноваций благодаря агенту и ресурсам супервайзера; $x(k(v, u))$ – размер

дохода супервайзера от производства в результате внедрения инноваций; $f(v)$ – размер расходов супервайзера на программу обучения агента; $z(u)$ – ресурсы (деньги) супервайзера, которые он тратит для внедрения инноваций; $g(v)$ – размер дохода агента от личной деятельности; $y(k(v, u))$ – размер дохода агента от производства в результате внедрения инноваций; $h(v)$ – личные расходы агента во время внедрения инноваций.

Ограничения на управления супервайзера и агента возьмем в виде:

$$v_{\min} \leq v \leq v_{\max}, \quad (3)$$

$$u_{\min} \leq u \leq u_{\max}, \quad (4)$$

Условие гомеостаза состоит в ограничении уровня внедрения инноваций:

$$k_{\min} \leq k(v, u) \leq k_{\max}; k_{\min}, k_{\max} = \text{const} \quad (5)$$

2. Аналитическое исследование модели

Рассматривались различные статьи из Интернета по теме как внедрить инновации в компании. Пусть $k(v, u) = q \cdot (v^\alpha \cdot u^\beta)$; α, β, q – константы;

$x(k(v, u)) = p_1 \cdot r \cdot q^\gamma \cdot (v^\alpha \cdot u^\beta)^\gamma$; $p_1 \in [0, 1]$ – показывает ту часть дохода, которую получит супервайзер от производства в результате внедрения инноваций, r, γ – константы;

$f(v) = l \cdot (p_2 \cdot (T_{\max} - v))$; $T_{\max}$ – максимальное время, которое агент тратит в день на деятельность, $p_2 \in [0, 1]$ – показывает ту часть времени, которую агент тратит на программу обучения, l – константа;

$g(v) = l \cdot (1 - p_2) \cdot (T_{\max} - v)$; $(1 - p_2) \in [0, 1]$ – показывает ту часть времени, которую агент тратит на свою личную деятельность, c – константа;

$y(k(v, u)) = (1 - p_1) \cdot r \cdot q^\gamma \cdot (v^\alpha \cdot u^\beta)^\gamma$; $(1 - p_1) \in [0, 1]$ – показывает ту часть дохода, которую получит агент от производства в результате внедрения инноваций;

$z(u) = u$; $h(v) = n \cdot v^\lambda$; n, λ – константы.

Пусть

$$p_1 \cdot r \cdot q^\gamma \cdot (v^\alpha \cdot u^\beta)^\gamma = a_1 \cdot (v^\delta \cdot u^\omega);$$

$$l \cdot (p_2 \cdot (T_{\max} - v)) = b \cdot (T_{\max} - v);$$

$$c \cdot (1 - p_2) \cdot (T_{\max} - v) = d \cdot (T_{\max} - v);$$

$$(1 - p_1) \cdot r \cdot q^\gamma \cdot (v^\alpha \cdot u^\beta)^\gamma = a_2 \cdot (v^\delta \cdot u^\omega).$$

Тогда целевые функции будут иметь вид:

– супервайзера (ведущего)

$$J_0(v, u) = a_1 \cdot (v^\delta \cdot u^\omega) - b \cdot (T_{\max} - v) - u \rightarrow \max_u, \quad (6)$$

– агента (ведомого)

$$J_1(v, u) = d \cdot (T_{\max} - v) + a_2 \cdot (v^\delta \cdot u^\omega) - n \cdot v^\lambda \rightarrow \max_v, \quad (7)$$

Сначала исследуем функцию агента. Найдем точку максимума v^0 . Для этого вычислим первую производную функции J_1 по управлению v и приравняем ее к нулю.

$$J'_1(v) = -d + a_2 \cdot \delta \cdot v^{\delta-1} \cdot u^\omega - \lambda \cdot n \cdot v^{\lambda-1} = 0$$

$$a_2 \cdot \delta \cdot v^{\delta-1} \cdot u^\omega - \lambda \cdot n \cdot v^{\lambda-1} = d$$

Корни данного выражения нельзя выразить в радикалах. Поэтому пусть $\lambda = \delta$. Тогда

$$a_2 \cdot \delta \cdot v^{\delta-1} \cdot u^\omega - \lambda \cdot \delta \cdot v^{\delta-1} = d$$

$$v = \delta^{-1} \sqrt[\delta]{\frac{d}{\delta \cdot (a_2 \cdot u^\omega - n)}} = v^0$$

где $d < 0$, $a_2 \cdot \delta \cdot (\delta - 1) \cdot v^{\delta-2} \cdot u^\omega - \lambda \cdot (\lambda - 1) \cdot n \cdot v^{\lambda-2} < 0$.

Далее вычислим вторую производную J_1 и подставим в нее точку v^0 . Если вторая производная будет строго меньше нуля, то v^0 – это точка максимума.

$$J''_1(v) = a_2 \cdot \delta \cdot (\delta - 1) \cdot v^{\delta-2} \cdot u^\omega - \delta \cdot (\delta - 1) \cdot n \cdot v^{\delta-2} = 0$$

Так как предположили, что $\lambda = \delta$, то здесь сделаем ту же замену. Тогда

$$a_2 \cdot \delta \cdot (\delta - 1) \cdot v^{\delta-2} \cdot u^\omega - \delta \cdot (\delta - 1) \cdot n \cdot v^{\delta-2} < 0$$

$$\frac{d}{\delta \cdot (a_2 \cdot u^\omega - n) \cdot \delta^{-1} \sqrt[\delta]{\frac{d}{\delta \cdot (a_2 \cdot u^\omega - n)}}} \cdot (\delta - 1) \cdot \delta \cdot (a_2 \cdot u^\omega - n) < 0$$

$$\delta^{-1} \sqrt[\delta]{\frac{\delta \cdot (a_2 \cdot u^\omega - n)}{d}} \cdot d \cdot (\delta - 1) < 0$$

Так как $d > 0$, $\delta > 0$, то если управление супервайзера такое, что $u < \sqrt[\omega]{\frac{n}{a_2}}$, то равновесия v не существует. Следовательно, при $\delta - 1 < 0$ получаем $J''_1(v) < 0$.

Получаем три случая расположения точки v^0

$$v^* = \begin{cases} v_{\min}, v^0 < v_{\min}, u < \sqrt[\omega]{\frac{n}{a_2}} \\ v^0, v_{\min} \leq v^0 \leq v_{\max}, u < \sqrt[\omega]{\frac{n}{a_2}} \\ v_{\max}, v_{\max} < v^0, u < \sqrt[\omega]{\frac{n}{a_2}} \end{cases}$$

Теперь исследуем три случая управления ведущего u и найдем u_1 и u_2

$$\begin{cases} u_{\min} \leq u < u_1 \rightarrow v^* = v_{\min} \\ u_1 \leq u \leq u_2 \rightarrow v^* = v^0 \\ u_2 < u \leq u_{\max} \rightarrow v^* = v_{\max} \end{cases}$$

Первый случай: Используем точку v^0 , найденную ранее

$$v^0 = \delta^{-1} \sqrt[\delta]{\frac{d}{\delta \cdot (a_2 \cdot u^\omega - n)}} = v^*$$

Если $\delta < 1$, видим, что при увеличении управления u прямо пропорционально увеличивается точка v^0 . Следовательно, это объясняет первый случай – на полуинтервале $u_{\min} \leq u < u_1$ точка $v^* = v_{\min}$. Теперь найдем u_1 .

$$v_{\min} = \delta^{-1} \sqrt[\delta]{\frac{d}{\delta \cdot (a_2 \cdot u^\omega - n)}}$$

Отсюда

$$u^{\omega} = \frac{d + v_{\min}^{\delta-1} \cdot \delta \cdot n}{v_{\min}^{\delta-1} \cdot \delta \cdot a_2}$$

$$u = \sqrt[\omega]{\frac{d + v_{\min}^{\delta-1} \cdot \delta \cdot n}{v_{\min}^{\delta-1} \cdot \delta \cdot a_2}} = u_1$$

Третий случай: Используем также точку v^0 , найденную ранее

$$v^0 = \sqrt[\delta-1]{\frac{d}{\delta \cdot (a_2 \cdot u^{\omega} - n)}} = v^*$$

Если $\delta < 1$, видим, что при увеличении управления u прямо пропорционально увеличивается точка v^0 . Следовательно, это объясняет третий случай – на полуинтервале $u_2 < u \leq u_{\max}$ точка $v^* = v_{\max}$ точка. Теперь найдем u_2 .

$$v_{\max} = \sqrt[\delta-1]{\frac{d}{\delta \cdot (a_2 \cdot u^{\omega} - n)}}$$

$$u = \sqrt[\omega]{\frac{d + v_{\max}^{\delta-1} \cdot \delta \cdot n}{v_{\max}^{\delta-1} \cdot \delta \cdot a_2}} = u_2$$

Второй случай: Он очевиден. Благодаря ранее найденным u_1 и u_2 второй случай перепишем в другом виде:

$$\sqrt[\omega]{\frac{d + v_{\min}^{\delta-1} \cdot \delta \cdot n}{v_{\min}^{\delta-1} \cdot \delta \cdot a_2}} \leq u \leq \sqrt[\omega]{\frac{d + v_{\max}^{\delta-1} \cdot \delta \cdot n}{v_{\max}^{\delta-1} \cdot \delta \cdot a_2}}$$

Теперь исследуем функцию супервайзера. Найдем точку максимума u_0 . Для этого подставим v_0 агента в функцию J_0 , а затем найдем u_0 численно, так как аналитически вычислить u_0 невозможно.

$$J_0(v, u) = a_1 \cdot \frac{d}{\delta \cdot (a_2 \cdot u^{\omega} - n)} \cdot \sqrt[\delta-1]{\frac{d}{\delta \cdot (a_2 \cdot u^{\omega} - n)}} \cdot u^{\omega} -$$

$$- b \cdot \left(T_{\max} - \sqrt[\delta-1]{\frac{d}{\delta \cdot (a_2 \cdot u^{\omega} - n)}} \right) - u \rightarrow \max_u$$

Учитывая исследования, которые были сделаны для функции агента, в результате получаем три случая расположения точки u^0

$$u^* = \begin{cases} u_1, u^0 < u_1 \\ u^0, u_1 \leq u^0 \leq u_2 \\ u_2, u_2 < u^0 \end{cases}$$

В результате выше описанных исследований мы получаем семь пар точек: $(v_{\min}; u_{\min})$, $(v_{\min}; u_1)$, $(v_0; u_1)$, $(v_0; u_0)$, $(v_0; u_2)$, $(v_{\max}; u_2)$, $(v_{\max}; u_{\max})$.

3. Примеры

Пусть $p_1=0.8$; $p_2=0.5$; $r=40$; $c=300$; $q=3$; $g=0.5$; $\alpha=1.5$; $\beta=0.9$; $\delta=\alpha \cdot \gamma$; $l=100$; $\lambda=\delta$; $n=0.4$; $k_{\min}=0$; $k_{\max}=60000$; $T_{\max}=16$; $v_{\min}=1$; $v_{\max}=16$; $u_{\min}=200$; $u_{\max}=2000$ (таблица 1).

Таблица № 1

Результаты счета для входных данных примера 1

Точка	Значение точки	Значения функции J_0	Значения функции J_1
$(v_{\min}; u_{\min})$	(1;200)	-348.585	2399.95
$(v_{\min}; u_1)$	(1;378.728)	-327.128	2450
$(v_0; u_1)$	(9.76;378.728)	3735.62	2040.38
$(v_0; u_0)$	(9.76;459.446)	4056.96	2140.89
$(v_0; u_2)$	(9.76;1763.27)	–	–
$(v_{\max}; u_2)$	(16;1763.27)	–	–
$(v_{\max}; u_{\max})$	(16;2000)	–	–

Как видно из таблицы, наилучшим решением для агента и супервайзера является точка $(v_0; u_0)$. На трех точках $(v_0; u_2)$, $(v_{\max}; u_2)$, $(v_{\max}; u_{\max})$ результаты не определены, так как эти точки не удовлетворяют условию гомеостаза.

Заключение

В результате проведенного аналитического исследования была найдена оптимальная точка, приведен пример. В дальнейшем планируется исследование модели в играх Штакельберга с прямой и обратной связью с одним и несколькими агентами, а также рассмотрение других видов входных функций.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, проект 17-19-01038.

Список литературы

1. Голуб А., Чеботарев А. Модель эффективности финансирования инноваций: Экономист, 2004. №3. С. 64–67.
2. Захарченко В.И. Нововведения: мотивация, моделирование, эффективность. Одесса: ОИУМ, 2002. 278 с.
3. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Теоретико-игровая модель согласования интересов при инновационном развитии корпорации // Компьютерные исследования и моделирование, 2016, 8(4), С. 673–684.
4. Шишаев М.Г. Комплексная системно-динамическая модель рыночной диффузии инновационного продукта. – Москва: Институт информатики и математического моделирования КНЦ РАН, 2008. С. 30–38.
5. Угольницкий Г.А. Управление устойчивым развитием активных систем. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2016. 704 с.

INNOVATION MANAGEMENT SYSTEM

D. L. Ninidze, A. B. Usov

Southern Federal University, Rostov-on-Don

davidnin@mail.ru, tol151968@yandex.ru

Abstract: We investigate the mathematical model of coordination of private and public interests at introduction of innovations. Innovation is broadly understood as the profitable use of innovations in the form of new technologies, products and services, organizational, technical and socio-economic solutions of industrial, financial, commercial, administrative or other nature. Innovation affects the structure of production enterprises in the country, the level of development of society. The introduction of innovations requires restructuring of the existing production, retraining of employees, capital costs and at the same time is associated with the risk of not suffering losses and getting the necessary result. The main task of mathematical modeling of coordination of private and public interests in the models of innovation promotion is to determine the appropriate strategy to promote innovation, provided that the maximum income of persons promoting innovation. The agent promotes innovation, for which he receives income from production from the supervisor, but at the same time has personal expenses during implementation. In addition, the agent has its own private interest, namely, engaged in third-party activities not related to the promotion of innovation, which also brings him income. The model uses an impulse in which the supervisor acts on the target function of the agent. We consider the various Internet articles on the topic of how to embed innovation in the company. We study the problem analytically. First, we investigate the function of the agent. We find the maximum point. As a result, we get three cases of point location. Then we investigate the function of the supervisor. We find the maximum point. Given the research we have done for the agent function, the result is three cases of point location. As a result of research, we get seven pairs of points.

Keywords: supervisor, agent, implementation, innovation, income.

References

1. Golub A., Chebotarev A. Model' e' ffektivnosti finansirovaniya innovacij [Model of efficiency of financing innovation]. Ekonomist, 2004, №3, P. 64–67 (In Russian).
2. Zakharchenko V.I. Novvovedeniya: motivaciya, modelirovanie, e' ffektivnost' [Innovations: motivation, modeling, efficiency]. Odessa: OIUM, 2002, 278 p. (In Russian).
3. Ugol'nickij G.A., Usov A.B. Teoretiko-igrovaya model' soglasovaniya interesov pri innovacionnom razvitii korporacii [Game-theoretic model of the coordination of interests in the innovative development of a corporation] // Computer Research and Modeling, 2016, №8 (4), P.673–684 (In Russian).
4. Shishaev M.G. Kompleksnaya sistemno-dinamicheskaya model' ry' nochnoj diffuzii innovacionnogo produkta [Complex system-dynamic model of market diffusion of innovative product]. Moskva: Institut informatiki i matematicheskogo modelirovaniya KNCz RAN, 2008, P. 30–38 (In Russian).
5. Ugolnitskii G.A. Upravlenie ustojchivym razvitiem aktivny'x system [Management of sustainable development of active systems]. Rostov-na-Donu: Southern Federal University, 2016, 704 p. (In Russian).