

Моделирование деятельности директора и персонала в фирме, связанной с разработкой инвестиционных проектов

Ж.Х. Азиева¹, А.Б. Усов²

¹Ингушский государственный университет, Магас

²Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Представлена двухуровневая иерархически организованная модель управления взаимодействием директора с персоналом в фирме, связанной с разработкой проектов в строительной сфере. В роли ведущего выступает директор, в роли ведомых – сотрудники компании. Оба субъекта управления стремятся к максимизации своих целевых функций, отражающих их доходы и расходы. Исследование модели проведено с учетом ее иерархической структуры. Разработан алгоритм построения решения Штакельберга при побуждении. Проведено численное исследование модели методом сценариев путем частичного перебора областей допустимых управлений субъектов с некоторым шагом. При проведении имитационных экспериментов в достаточно широком диапазоне варьировались все входные параметры модели. Результаты проведенных имитационных экспериментов проанализированы, выявлены некоторые закономерности развития системы.

Ключевые слова: иерархия, побуждение, система управления, алгоритм решения, равновесие Штакельберга, ведущий, ведомый, имитация, эксперимент, инвестиционный проект.

Введение

В современном мире процесс урбанизации набирает обороты. Быстрыми темпами увеличивается плотность городской застройки. Сегодня современный город представляет собой своеобразный симбиоз новых зданий и старых, поддерживающих культурный ареал города, который необходимо сохранять. В связи с этим большую значимость приобретают инвестиционные проекты в строительстве. Работ, посвященных таким проектам, в последнее время появилось значительное количество. Выделим среди них работы, в которых особое внимание уделено математическому моделированию [1], системному подходу [2] и использованию автоматизированных компьютерных систем [3]. Кроме того, отметим работы, где внимание уделяется стимулированию [4] и оценке успешности инвестиционных проектов [5]. Большое значение имеют, в частности, проекты, направленные на повышение прочности несущих конструкций имеющихся и строящихся

зданий [6]. Усиление фундаментов и методы их переустройства позволяют повысить прочность всей конструкции здания. Предприятия, которые осуществляют подобную деятельность, играют большую роль в развитии городских мегаполисов и региона в целом. В условиях рынка такие фирмы должны приносить доход своим сотрудникам. Зачастую именно менеджмент таких малых предприятий имеет решающее значение, поскольку постоянно растущее количество аналогичных компаний, часто не отвечающее профессиональным требованиям, экономическая нестабильность строительной отрасли, желание заказчика сэкономить в ущерб качеству сказывается на финансовой стороне вопроса. Поэтому одной из задач такой организации является оптимизация внутреннего функционирования персонала, выработка оптимальной стратегии управления, направленной на увеличение прибыли предприятия и сохранения лидирующих позиций на рынке. Предотвратить излишние расходы и оптимизировать работу научно-производственного предприятия возможно с помощью создания математической модели менеджмента предприятия с учетом интереса как всей компании в целом в лице ее директора, так и ее сотрудников. Многофакторная система управления диктует высокие требования к квалификации управленческого персонала. Кроме того, условия рыночной экономики и как следствие высокая конкуренция на рынке предлагаемых конкретным предприятием услуг предполагает принятие адекватных и эффективных управленческих решений. Экономика организации – сложная иерархическая система, и для таких систем является актуальным разработка информационно-моделирующих систем, использующих возможности вычислительной техники, а постоянное совершенствование алгоритмов моделирования и разработка новых концепций математических моделей способствует полноте картины относительно принимаемых решений.

Ниже анализируется взаимодействие субъектов внутри иерархической системы, а именно, система менеджмента научно-производственного предприятия, специализирующегося на создании инвестиционных проектов, связанных с проектированием оснований и фундаментов зданий и сооружений.

Для оптимального решения задачи следует обратиться к концепции теоретико-игровых моделей и представить математическую модель иерархической игры двух субъектов, основанную на статической двухуровневой системе [7,8].

Таким образом, основной целью данной работы является разработка математической модели, описывающей взаимодействия директора и сотрудников производственного предприятия в процессе создания и реализации проектов, связанных со строительством.

Математическая постановка задачи

Определим целевые функции Ведущего и ведомых. В качестве целевой функции директора возьмем:

$$J_0 = V(k, s)(Pr(k, s) + G(k, s) + Con(Pr(k, s))) - R_1 - W(k, s) \rightarrow \max \quad (1)$$

Здесь s – стоимость заказа (управление ведущего – директора); k – квалификация сотрудника (управление ведомого – сотрудника); $V(k, s)$ – количество заказов; $Pr(k, s)$ – средний доход с одного проекта; $G(k, s)$ – средний доход с инженерно-геологических изысканий по проекту; $Con(Pr(k, s))$ – доход при осуществлении контроля за соблюдением проектных решений при строительстве объекта; $W(k, s)$ – функция заработной платы сотрудникам; R_1 – расходы на коммунальные услуги, хозяйственные товары (ручки, бумага, химические вещества для исследований и т. д.), содержание и восстановление оборудования (компьютеры, лабораторный пресс, компрессионные приборы и прочие).

Источниками дохода фирмы являются разработка и ведение проекта. Ведение проекта состоит в контроле за соблюдением решений проекта по постройке объекта и инженерно-геологические изыскания.

Ограничения на управление директора имеют вид:

$$s_{\min} \leq s \leq s_{\max}; s_{\min}, s_{\max} = \text{const} \quad (2)$$

где $s_{\min}, s_{\max}$ – максимальная и минимальная стоимость работ.

Целевая функция сотрудников:

$$J_1 = W(k, s) - Q(k) - R_2 \rightarrow \max \quad (3)$$

Здесь $Q(k)$ – функция повышения квалификации; R_2 – прочие расходы (на еду, семью, развлечения и прочие).

Основным и единственным доходом сотрудника является его заработная плата, которая зависит от его квалификации и стоимости заказа на проект. Сотрудник должен повышать свою квалификацию на соответствующих курсах.

Ограничения на управления сотрудника:

$$k_{\min} \leq k \leq k_{\max}; k_{\min}, k_{\max} = \text{const} \quad (4)$$

где $k_{\min}, k_{\max}$ – низшая и высшая возможные квалификации сотрудника

Алгоритм построения равновесий

Модель (1) (4) необходимо исследовать на предмет нахождения оптимальной стратегии для ведущего и ведомого. Для этого используется алгоритм равновесия Штакельберга для двухуровневых статических иерархических моделей в случае побуждения [9,10].

Алгоритм нахождения равновесия

1. При произвольном фиксированном управлении Ведущего рассматривается целевая функция ведомого. Ищется ее максимум. Точка, в которой этот максимум был достигнут, параметрически зависит от управления ведущего и считается оптимальной стратегией ведомого.

2. Подставим найденную на первом шаге алгоритма точку в целевую функцию ведущего. Зная реакцию агента на любую стратегию супервайзера, находится максимум целевой функции супервайзера.
3. Получившаяся пара точек (оптимальное управление супервайзера, оптимальная реакция агента) и задает точку равновесия Штакельберга для заданной задачи.

Идентифицируем функции из (1), (3). Функция $V(k,s)$ – возрастающая, выпуклая вниз по k и убывающая выпуклая вниз по s функция; $Pr(k,s)$, $W(k,s)$ – возрастающие по обоим аргументам функции выпуклые вниз по k и вверх по s ; $G(k,s)$ – возрастает по k и убывает по s , выпукла вниз; $Con(Pr(k,s))$ – возрастающая функция; функция $Q(k)$ – возрастающая, выпуклая вниз функция:

$$V(k,s) = \frac{C_1 k}{s^\alpha}; Pr(k,s) = C_2 k^2 \sqrt{s}; G(k,s) = \frac{C_3 k}{\sqrt{s}}; Con(Pr(k,s)) = C_4 s^2 \sqrt{k}; \quad (5)$$

$$W(k,s) = C_5 k^2 \sqrt{s}; Q(k) = C_6 k^2$$

Итак, исследуем модель (1) - (4) для входных функций (5).

Имитационное моделирование

Исследование модели было проведено следуя [11].

Алгоритм решения при имитации

1. Область допустимых управлений Ведущего разбивается на n равных частей и запоминается его s_i управление. Для каждого s_i область определения управлений Ведомого разбивается на n частей и запоминается k_i - оптимальный ответ ведомого на управление s_i .
2. После получения управлений находится максимум целевой функции Ведомого J_1 и фиксируется его управление k_i^* .

3. Из нескольких полученных пар точек $(s_i, k_i^*(s_i))$, находится та, при которой значение целевой функции Ведущего J_0 имеет максимальное значение. Соответствующая пара $(s_i^*, k_i^*(s_i^*))$ будет являться искомым равновесием системы.

При проведении экспериментов варьировались: C_1 от 100 т.руб до 1 млн.руб; C_2 от 10 руб до 1000 руб; C_3 от 100 млн.руб до 10000 млн.руб; C_4 от 0.0001 руб до 0.1 руб; C_5 от 100 до 50 000 руб; C_6 от 10 т.руб до 1млн.руб; α от 0.1 до 3. Величины $R_1, R_2, k_{\max}, k_{\min}, s_{\max}, s_{\min}$ не менялись и

$$R_1=R_2=0; k_{\max} = 10; k_{\min} = 1; s_{\max} = 800 \text{ т.руб}; s_{\min} = 50 \text{ т.руб}$$

При определении вида входных функций и значений входных параметров модели использовались данные производственного предприятия “ИНТРОФЭК”. Некоторые из полученных результатов приведены в таблице 1. Таким образом, увеличение среднерыночной стоимости проекта, а также дохода с инженерно-геологических изысканий и сопровождения проекта приводит к соизмеримому увеличению прибыли ведущего и незначительному росту дохода ведомого; при увеличении размера заработной платы прибыль ведущего уменьшается, а ведомого возрастает; при увеличении стоимости курсов повышения квалификации уменьшает прибыль ведомого.

Таблица № 1

Зависимость выигрыша субъектов от входных параметров

№ п/п	α	C_1 т.руб	C_2 руб	C_3 млн.руб	C_4 руб	C_5 т.руб	C_6 т.руб	J_0 руб	J_1 руб
1	0.5	600	50	4000	0.001	1	100	5150577	11822
2	0.5	100	50	6000	0.001	1	50	6291644	140711
3	0.5	900	100	8000	0.001	1	200	7269911	334044
4	0.7	600	100	1000	0.01	2	50	7433200	462933

5	0.7	600	50	1000	0.01	2	100	6944800	656266
6	0.7	900	50	2000	0.02	2	200	8624133	155533
7	1	100	200	4000	0.02	0.5	200	7947022	244788
8	1	200	200	6000	0.015	0.5	100	7269911	334044
9	1	200	200	1000	0.015	0.5	50	6592800	423300
10	2	300	100	1000	0.005	1	50	5915688	512555
11	2	400	100	5000	0.005	0.5	100	6491111	264444
12	2	500	100	5000	0.005	1	100	7269911	334044
13	1.5	500	200	2000	0.001	1	200	8048711	403644
14	1.5	400	50	2000	0.015	2	150	8827511	473244
15	1.5	400	50	3000	0.015	2	300	9606311	542844
16	3	400	50	3000	0.002	0.5	150	4588551	334044
17	3	700	100	3000	0.002	0.5	50	7269911	334044
18	3	700	100	5000	0.002	0.5	100	9951271	334044
19	2.5	800	100	5000	0.03	3	100	12632631	334044
20	2.5	800	200	5000	0.03	3	200	15313991	334044

Заключение

В следствие работы на основе ряда источников была разработана двухуровневая статистическая иерархическая модель взаимодействия директора и сотрудников, оттестированная на данных производственного предприятия «ИНТРОФЭК». В разработанной модели учтены основные интересы обоих субъектов (Супервайзер и Агент). Кроме разработки математической модели, было выполнено тестирование на реальных данных. При помощи имитационного моделирования находились оптимальные стратегии игроков и строилось равновесие Штакельберга.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ проект № 25-11-00094.

Литература

1. Soloviev, D.B., Kuzora, S.S., Merkusheva A.E. Mathematical model for evaluating the effectiveness of an innovation hub // Economics and Management: Problems, Solutions. 2018. №3. pp. 33-45.
2. Kerzner, H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling, Hoboken, NJ: Wiley, 2017, 796 p.
3. Katherine J. Klein, Amy Buhl Conn, and Joann Speer Sorra Implementing computerized technology: An organizational analysis // J. of Applied Psychology – USA: American Psychological Association Inc. 2001. V. 86. № 5. pp. 811–824.
4. Cheung, S. O., Yiu, T. W., & Lam, M. C. Interweaving Trust and Communication for Project Performance // Journal of Construction Engineering and Management. 2013. № 139(8). pp. 941–950.
5. Pinto, J. K., Slevin, D. P. Project Success: Definitions and Measurement Techniques // Project Management Journal. 1988. № 19(1). pp. 67–73.
6. Порывай Г.А. Техническая эксплуатация зданий. М: Стройиздат, 1990. 369 с.
7. Basar, T., Olsder, G.J. Dynamic Non-Cooperative Game Theory. SIAM, 1999. 520p.
8. Нинидзе Д.Л. Исследование динамической модели внедрения инноваций в организациях // Инженерный вестник Дона, 2024, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9205.
9. Dockner E., Jorgensen S., Long N.V., Sorger G. Differential Games in Economics and Management Science. Cambridge University Press, 2000. 382p.
10. Мальсагов М.Х., Угольников Г.А. Дифференциально-игровые модели коррупции при распределении ресурсов // Инженерный вестник Дона, 2018, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4984

11. Агиева М.Т. Качественно репрезентативные сценарии имитационного моделирования маркетинговых воздействий // Инженерный вестник Дона, 2019, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5748.

References

1. Soloviev, D.B., Kuzora, S.S., Merkusheva A.E. Economics and Management: Problems, Solutions. 2018. №3. pp. 33-45.
2. Kerzner, H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling, Hoboken, NJ: Wiley, 2017, 796 p.
3. Katherine J. Klein, Amy Buhl Conn, and Joann Speer Sorra J. of Applied Psychology – USA: American Psychological Association Inc. 2001. V. 86. № 5. pp. 811–824.
4. Cheung, S. O., Yiu, T. W., & Lam, M. C. Journal of Construction Engineering and Management. 2013. № 139(8). pp. 941–950.
5. Pinto, J. K., Slevin, D. P. Project Management Journal. 1988. № 19(1). pp. 67–73.
6. Poryvaj G.A. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya zdaniy. [Technical operation of buildings]. M: Strojizdat, 1990. 369 p.
7. Basar, T., Olsder, G.J. Dynamic Non-Cooperative Game Theory. SIAM, 1999. 520p.
8. Ninidze D.L. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9205.
9. Dockner E., Jorgensen S., Long N.V., Sorger G. Differential Games in Economics and Management Science. Cambridge University Press, 2000. 382p.
10. Mal'sagov M.H., Ugol'nickij G.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4984
11. Агиева М.Т. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5748.

Дата поступления: 16.07.2025

Дата публикации: 25.08.2025