1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

УДК 519.876

DOI: 10.23885/2500-395X-2019-1-4-15-18

БОРЬБА С ЭКОНОМИЧЕСКОЙ КОРРУПЦИЕЙ В ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

М.С. Кравцов, А.Б. Усов

Институт математики, механики и компьютерных наук ЮФУ
tol151968@yandex.ru, makkravcov@yandex.ru

Аннотация. Эколого-экономические системы широко распространены в экономике любой страны. Одной из проблем функционирования большинства эколого-экономических систем является наличие оппортунистического поведения субъектов управления нижних уровней. В статье рассматривается задача борьбы Принципала с незаконными коррупционными действиями между Супервайзером и Агентом. Строится трехуровневая иерархическая модель, включающая Принципала, Супервайзера и Агента на верхнем, среднем и нижнем уровнях соответственно. Помимо борьбы со взяточничеством в задаче рассматривается природоохранная деятельность, которая ведется Супервайзером. В качестве метода управления на каждом из уровней используется метод побуждения. Исследуется поведение системы в случае информационного регламента игры Штакельберга без обратной связи по управлению. Указан алгоритм нахождения равновесия Штакельберга. Продемонстрированы результаты имитационных экспериментов для предложенной модели при различных входных данных. Дан анализ полученных результатов. Сделан ряд содержательных выводов.

Ключевые слова: игра Штакельберга, трехуровневая система, борьба с коррупцией, побуждение, природоохранная деятельность, имитация, качество речной воды, иерархия.

Введение

Рассматривается задача о борьбе с экономической коррупцией в эколого-экономических системах [1,2]. Имеется Предприятие (Агент), ведущее некоторую деятельность и в результате нее выбрасывающее в реку Загрязняющие Вещества (ЗВ). Деятельность Агента по выбросам ЗВ в реку контролирует Центр (Супервайзер), назначая штрафы за объем выброшенных ЗВ. Агент имеет в своем распоряжении некоторый инструмент, позволяющий ему контролировать степень очистки выбрасываемой в реку воды. Супервайзер часть средств, полученных со штрафов, обязуется отдавать вышестоящему органу (Принципалу). Если Принципал требует отдавать ему слишком много, то Супервайзер может прибегнуть к нечестной игре и брать с Агента взятку за уменьшение суммы штрафа, оплачиваемой Агентом за сброс ЗВ. Это может быть выгодно Супервайзеру, так как Принципал будет получать меньше средств при той же своей доле, а Супервайзер суммарно будет получать больше средств от Агента. В результате Принципал вынужден пресекать незаконную деятельность и штрафовать Супервайзера в случае выявления факта получения взятки. При этом принципал несет некоторые затраты на борьбу с Супервайзером.

Постановка задачи

Рассматривается трехуровневая иерархическая игра Штакельберга [3]. Каждый из игроков имеет в своем распоряжении по два управляющих параметра, регулируя которые ищет для себя оптимальный выигрыш в каждой ситуации. Принципал ни от кого не зависит и находит для себя оптимальную стратегию, руководствуясь и зная реакцию функционалов Супервайзера и Агента. Супервайзер для каждой стратегии Принципала и, зная поведение Агента, подбирает свои оптимальные управляющие параметры. Агент подневолен и выбирает свои управляющие параметры, зная, какой выбор сделали Принципал и Супервайзер, и руководствуясь своим функционалом.

Принципал имеет возможность регулировать свои затраты на пресечение незаконной деятельности Супервайзера [5] и назначает долю, которую возьмет от полученных Супервайзером средств за выброс Агентом ЗВ в реку. Супервайзер выбирает штрафную ставку за выброс ЗВ для Агента и сообщает Агенту, какую сумму он готов взять за уменьшение штрафной ставки. Агент выбирает степень очистки ЗВ в выбрасываемой воде и взятку, которую готов передать Супервайзеру.

Функционалы каждого игрока берутся в следующем виде:

$$y_0 = -Chase(\gamma) + Catch(\gamma, \beta) + (1 - \alpha) Taxes(p, s, \beta) \rightarrow \max_{\gamma, \alpha} \quad (1)$$

$$y_1 = -Control(s) - Catch(\gamma, \beta) + \alpha Taxes(p, s, \beta) + Bribe(x, \beta) \rightarrow \max_{s, x} \quad (2)$$

$$y_2 = Income - Cleaning(p) - Taxes(p, s, \beta) - Bribe(x, \beta) \rightarrow \max_{p, \beta} \quad (3)$$

Функции и параметры описываются следующим образом:

γ – управляющий параметр Принципала, влияющий на затраты на борьбу с незаконной деятельностью Супервайзера и на вероятность обнаружения факта взятки. α – управляющий параметр Принципала. Доля от полученных с Агента штрафов, которую оставит себе Супервайзер. Остальная часть достается Принципалу. S – управляющий параметр Супервайзера. Размер штрафной ставки за выброс ЗВ.

x – управляющий параметр Супервайзера. Определяет размер взятки.

p – управляющий параметр Агента. Определяет степень очистки выбрасываемой в реку воды.

β – управляющий параметр Агента. Определяет размер взятки и то, насколько в результате будет уменьшен штраф за выброс ЗВ.

$Chase(\gamma) = C_1 \gamma^2$ – затраты Принципала на обнаружение получения взятки Супервайзером. $C_1 > 0$ – некоторая константа.

$Catch(\gamma, \beta) = F(\gamma) C_2 x \beta$ – штраф, превышающий размер взятки в C_2 раз, который Супервайзеру необходимо будет заплатить. $F(\gamma)$ – вероятность обнаружения факта взятки. $C_2 > 1$ – некоторая константа, показывающая, что Супервайзер должен вернуть полностью взятку и еще некоторое количество личных средств.

$Taxes(p, s, \beta) = w(1 - p) \left(s - s s_0 \sqrt{\frac{\beta}{\beta_{\max}}} \right)$ – штраф, налагаемый на Агента, за сброс ЗВ в реку. w – объем воды, выбрасываемой в реку Агентом.

$Control(s) = C_3 s^2$ – расходы Супервайзера на рекреационные мероприятия. $C_3 > 0$ – некоторая константа.

$Bribe(x, \beta) = x \beta$ – взятка, даваемая Агентом Супервайзеру.

$Cleaning(p) = \frac{w D p}{1 - p}$ – затраты Агента на очистку воды.

D – некоторая константа, определяющая затраты Агента на очистку воды.

$Income = R$ – некоторый фиксированный доход Агента в результате его производственной деятельности

$F(\gamma) = \frac{\ln(1 + \gamma)}{\ln(1 + \gamma_{\max})}$ – вероятность обнаружения Принципалом факта взятки Супервайзером. Вероятность растет медленнее, чем затраты на мероприятия по обнаружению факта взятки.

В развернутом виде задача (1) – (3) выглядит следующим образом:

$$y_0 = -C_1 \gamma^2 + \frac{\ln(1 + \gamma)}{\ln(1 + \gamma_{\max})} C_2 x \beta + (1 - \alpha) w(1 - p) \times \left(s - s s_0 \sqrt{\frac{\beta}{\beta_{\max}}} \right) \rightarrow \max_{\gamma, \alpha}$$

$$y_1 = -C_3 s^2 - \frac{\ln(1 + \gamma)}{\ln(1 + \gamma_{\max})} C_2 x \beta + \alpha w(1 - p) \times \left(s - s s_0 \sqrt{\frac{\beta}{\beta_{\max}}} \right) + x \beta \rightarrow \max_{s, x}$$

$$y_2 = R - \frac{w D p}{1 - p} - w(1 - p) \left(s - s s_0 \sqrt{\frac{\beta}{\beta_{\max}}} \right) - x \beta \rightarrow \max_{p, \beta}$$

$$0 < \gamma \leq \gamma_{\max} \quad 0 < \alpha < 1 \quad 0 < s \leq s_{\max} \quad 0 \leq x \quad 0 \leq p \leq \varepsilon < 1 \\ 0 < \beta \leq \beta_{\max}$$

Аналитически данную задачу решить достаточно трудно, поэтому применяются численные методы. Каждый управляющий параметр считается дискретным в своей области определения и разбивается на некоторое количество частей. Данный метод не позволяет найти достоверно точное решение, но дает некоторое представление о поведении всех участников в зависимости от начальных параметров.

Ниже предоставлены данные для конкретно рассматриваемой задачи.

Управляющие параметры дискретизируются для каждого участника игры следующим образом:

$$\gamma = \{0; 500; 1000; 1500; 2000\}, \alpha = \{0.1; 0.3; 0.5; 0.7; 0.9\}, \\ s = \{1000; 2750; 4500; 6250; 8000\}, x = \{0; 25; 50; 75; 100\}, \\ p = \{0; 0.225; 0.45; 0.675; 0.9\}, \beta = \{0; 2500; 5000; 7500; 10000\}$$

Положим $R = 10000$

Таблица №1
Результаты счета

C_1	C_2	C_3	s_0	w	D	Принципал	Супервайзер	Агент
0.1	1	6	0.9	10000	20	$\gamma=500, \alpha=0.1, y_0=480789$	$s=1000, x=50, y_1=-5,84e+6$	$p=0.45, \beta=10000, y_2=-704109$
0.1	1	6	0.9	300	40	$\gamma=500, \alpha=0.3, y_0=529020$	$s=1000, x=100, y_1=-5,76e+6$	$p=0.675, \beta=2500, y_2=-1.02e+6$
0.1	1	6	0.9	1000	40	$\gamma=1000, \alpha=0.1, y_0=1.18e+6$	$s=1000, x=100, y_1=-5,73e+6$	$p=0.45, \beta=10000, y_2=-1.86e+6$
0.1	3	6	0.9	3000	40	$\gamma=500, \alpha=0.7, y_0=537825$	$s=1000, x=75, y_1=-5,83e+6$	$p=0.675, \beta=2500, y_2=-962981$
0.1	3	6	0.3	3000	40	$\gamma=500, \alpha=0.1, y_0=852500$	$s=1000, x=75, y_1=-5,90e+6$	$p=0.675, \beta=0, y_2=-1.21e+6$

Исходя из результатов, представленных в Таблице 1, можно сделать вывод о поведении каждого из участников игры. При увеличении выбросов воды и подорожании услуг по ее очистке Принципал старается вкладывать максимальное количество средств для выявления коррупции. При увеличении штрафов за взятку, Принципал предпочитает оставлять Супервайзеру большую долю со штрафов за выброс ЗВ в реку. На величину взятки, даваемую Супервайзеру, влияет сумма штрафа за поимку Супервайзера, это логично и подтверждается проведенной имитацией. Проведенные опыты показывают, что Супервайзеру выгодно штрафную ставку оставлять максимальной всегда. На Агента влияют стратегии Супервайзера и Принципала. Видно, что при подорожании очистки воды, Агент начинает очищать еще большие объемы, при этом уменьшая сумму взятки, хотя ожидался противоположный результат. Также

видно, что Агенту не выгодно, если взятка мало изменяет итоговую штрафную ставку.

Заключение

Таким образом, была рассмотрена трехуровневая иерархическая игра Штакельберга. Нахождение решения задачи сводится к поэтапному нахождению реакций игроков нижнего уровня на действия игроков верхнего уровня. Предполагается, что Принципал руководствуется только своими личными целями, не заботясь о благосостоянии Супервайзера и Агента. Проанализированы результаты и сделаны соответствующие выводы о поведении каждого игрока в зависимости от начальных условий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-01-00053.

Список литературы

1. Горелик В.А., Кононенко А.Ф. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. М.: Радио и связь, 1982. 144 с.
2. Горстко А.Б., Угольников Г.А. Введение в моделирование эколого-экономических систем. Изд-во Рост. ун-та, 1990. 112 с.
3. M. Intriligator Mathematical optimization and economic theory. New York: Prentice Hall, 1971. 529 p.

COMBATING ECONOMIC CORRUPTION IN ECOLOGICAL AND ECONOMIC SYSTEMS

M.S. Kravtsov, A.B. Usov

Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences SFU

tol151968@yandex.ru, makkravcov@yandex.ru

Abstract: Ecological and economic systems are widespread in the economy of any country. One of the problems of the functioning of most ecological-economic systems is the presence of opportunistic behavior of the subjects of management of lower levels. The article deals with the task of the struggle of the Principal against illegal corruption actions between the Supervisor and the Agent. A three-level hierarchical model is being built, including the Principal, the Supervisor and the Agent at the top, middle and lower levels, respectively. In addition to the fight against bribery, the task deals with environmental protection activities that are carried out by the Supervisor and are aimed at protecting water resources from harmful influences on the part of the Agent. The method of inducement is used as a control method at each level. Each player has at his disposal two control parameters with which he can influence functionals of other players. In this case, the player at the highest level knows the functionals of the players at the lower levels. The behavior of the system is investigated in the case of the Stackelberg game information regulations without control feedback. The algorithm for finding the Stackelberg equilibrium is indicated. The results of simulation experiments for the proposed model with various input data are demonstrated. An analysis of the results obtained and recommendations on the behavior of each participant in the hierarchical game under consideration are given. A number of meaningful conclusions were made.

Keywords: Stackelberg game, three-level system, fight against corruption, inducement, nature protection activity, imitation, river water quality, hierarchy.

References

1. Gorelik V.A., Kononenko A.F. Teoretiko-igrovye modeli prinjatija reshenij v jekologo-jekonomicheskikh sistemah [Game-theoretic models of decision making in environmental-economic systems]. M.: Radio i svjaz' [Moscow: Radio and communication], 1982. 144 p. (In Russian)
2. Gorstko A.B., Ugol'nickij G.A. Vvedenie v modelirovanie jekologo-jekonomicheskikh sistem [Introduction to Modeling Ecological and Economic Systems]. Izd-vo Rost. un-ta [Publishing house of Rostov University], 1990. 112 p. (In Russian)
3. M. Intriligator Mathematical optimization and economic theory. New York: Prentice Hall, 1971. 529 p. (In English)