

МОДЕЛИ МОТИВАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ И ПРОБЛЕМЫ ИХ ИДЕНТИФИКАЦИИ¹

Антоненко А. В.², Угольницкий Г. А.³

(Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону)

Рассматриваются оптимизационные и теоретико-игровые модели стимулирования инноваций и борьбы с хищениями в электроэнергетике. Обсуждаются проблемы идентификации моделей, имеющие ключевое значение для приложений. Приводятся результаты аналитических и численных исследований.

Ключевые слова: иерархические игры, мотивационное управление, оптимизация, идентификация, электроэнергетика

1. Введение

Анализ литературных источников позволяет сделать следующие выводы.

1. При управлении распределенным потреблением электроэнергии в условиях децентрализованного рынка достаточно активно используются математические модели и компьютерные системы поддержки решений на их основе.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №12-01-00017, 12-01-31287) и Южного федерального университета.

² Антоненко Андрей Валерьевич, кандидат технических наук, (тел. (918) 564-54-38, andrei80586@yandex.ru)

³ Угольницкий Геннадий Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор (Ростов-на-Дону, ул. Лермонтовская, 102, кв. 30, тел. служебный (863) 297-51-14, ougoln@mail.ru)

2. Среди наиболее широко применяемых моделей можно указать:

- модели прогноза различных параметров функционирования электроэнергетических систем и рынков электроэнергии (цены, нагрузки, потребление) [3];
- модели влияния различных факторов и подготовки данных (эконометрические, динамические) [7];
- модели функционирования рынка и его отдельных участников, в т.ч. регуляторов и распределяющих компаний (экономико-математические, имитационные) [6];
- модели оценки инвестиций [4];
- модели и системы поддержки решений [10];
- модели управления спросом [12].

3. Большинство описанных моделей опирается на данные коммерческого учета потребления электроэнергии, для получения которых необходимо устанавливать интеллектуальные счетчики.

4. Наиболее важными с точки зрения решения практических задач, стоящих перед электроэнергетическими компаниями на конкурентном рынке, представляются задачи управления спросом. Именно инновации в управлении спросом могут дать наибольший эффект в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

5. Комплексное использование моделей и методов управления спросом позволяет не только решать задачи оперативного управления электроэнергетическими системами, но и обеспечить их долгосрочное устойчивое развитие, под которым понимается выполнение базовых социальных, экономических, экологических и технологических требований при условии согласования интересов всех участников рынка электроэнергии. Постановка и решение задач управления устойчивым развитием электроэнергетической отрасли представляется магистральным направлением фундаментальных и прикладных научных исследований в электроэнергетике.

На основании проведенного анализа представляются целесообразными постановка и решение следующих задач управления распределенным потреблением электроэнергии.

1.Интеллектуальная обработка данных, собираемых компьютеризованными электросистемами (приборами учета потребления электроэнергии).

2.Разработка моделей защиты от целенаправленного искажения информации и алгоритмов их решения: а) модели борьбы с неплатежами; б) модели борьбы с уменьшением показателей потребления электроэнергии; в) модели контроля отчетности подразделений энергетических компаний.

3.Разработка моделей активного пользователя электроэнергии и алгоритмов их решения: а) модели использования дифференцированных тарифов на электроэнергию;

б) модели «встречного планирования» для повышения точности прогноза потребления и управления нагрузкой; в) модели стимулирования инноваций в коммерческом учете электроэнергии.

4.Разработка моделей иерархического управления устойчивым развитием электроэнергетическими системами и алгоритмов их решения: а) модели административного управления с учетом требований устойчивого развития; б) модели экономического управления с учетом требований устойчивого развития; в) модели перехода к кооперации агентов и совместного обеспечения устойчивого развития.

В ролях ведущего и ведомого в моделях иерархического управления могут выступать различные агенты, например: регулятор рынка – энергетическая компания, энергетическая компания – клиент, крупная оптовая компания – розничные продавцы электроэнергии, компания - филиалы и т.п.

5.Разработка и реализация информационно-моделирующих систем управления в электроэнергетике с учетом требований устойчивого развития.

Итак, для решения практических задач управления спросом на электроэнергию представляется целесообразным использовать модели и механизмы управления организационными системами с учетом концепции управления устойчивым развитием. На первый план здесь выходят модели мотивационного управления, описывающие экономические

механизмы стимулирования активных агентов. Изучение таких моделей осуществляется средствами теории контрактов [11], информационной теории иерархических систем [5], теории активных систем [1] (сейчас – теории управления организационными системами [8]). В рамках последнего направления впервые намечены пути приложения механизмов организационного управления к электроэнергетике [2]. В авторских исследованиях мотивационное управление трактуется как побуждение – один из методов управления наряду с принуждением и убеждением, которые используются для решения задач обеспечения устойчивого развития сложных систем [9-10].

Целью настоящей работы является построение и исследование достаточно простых математических моделей, которые могут быть использованы для решения практических задач мотивационного управления в электроэнергетике, и предварительное обсуждение проблем их идентификации. Рассматриваются две группы таких моделей: модели стимулирования инноваций и модели борьбы с хищениями электроэнергии.

2. Модели стимулирования инноваций в электроэнергетике

В качестве примера инновации рассматривается установка компьютеризованных электросистем «Аргус», обеспечивающих автоматизацию учета потребления электроэнергии и ряд функций управления нагрузкой. Применение данного оборудования позволяет увеличить эффективность использования установленной электрической мощности объектов до 30%, повысить уровень пожарной безопасности объектов, снизить затраты на эксплуатацию систем электроснабжения объектов до 15 % и увеличить их срок эксплуатации. Максимальная эффективность применения оборудования достигается при новом строительстве и

реконструкции объектов. Оборудование имеет европейский и российский сертификаты соответствия, его применение одобрено и рекомендовано НП «Центр энергосбережения и инновационных технологий» Ростовской области и ОАО «Донэнерго».

Однако остается открытым вопрос о субъекте финансирования установки компьютеризованных электросистем (интеллектуальных счетчиков) «Аргус» для различных категорий потребителей. Для его решения целесообразно использовать различные классы моделей стимулирования.

2.1 КЛАССИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТИМУЛИРОВАНИЯ

В классической модели стимулирования [3] центр компенсирует агенту затраты на совершение действий, приносящих доход центру. Обозначим

u - доля установленных счетчиков от максимального числа (100%-ной обеспеченности);

$c(u)$ - затраты агента на установку счетчиков (выпуклая функция); $s(u)$ - компенсация центром затрат агента; $H(u)$ - доход центра от установки счетчиков (вогнутая функция).

Модель имеет вид

$$F(u) = H(u) - s(u) \rightarrow \max, \quad s(u) \in S(u);$$

$$f(u) = s(u) - c(u) \rightarrow \max, \quad 0 \leq u \leq 1.$$

Ее решение

$$s^*(u) = \begin{cases} c(u) + \delta, & u = u^*; \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

где δ - мотивирующая надбавка,

$$F(u^*) = \max_{0 \leq u \leq 1} F(u) = \max_{0 \leq u \leq 1} [H(u) - c(u)].$$

Возьмем в качестве примера

$$H(u) = au^\alpha \quad (0 \leq \alpha \leq 1), \quad c(u) = bu^\beta \quad (\beta \geq 1).$$

Здесь a - доход центра при 100%-ном охвате территории счетчиками; b - затраты агента на 100%-ную обеспеченность счетчиками; α, β - модельные параметры. Тогда

$$F(u) = H(u) - c(u) = au^\alpha - bu^\beta$$

$$\frac{dF}{du} = \alpha au^{\alpha-1} - \beta bu^{\beta-1} \Rightarrow u^* = \left(\frac{\alpha a}{\beta b} \right)^{\frac{1}{\beta-\alpha}} \text{ - точка максимума, т.к.}$$

$$\frac{d^2 F(u^*)}{du^2} = \alpha(\alpha-1)u^{\alpha-2} - \beta(\beta-1)u^{\beta-2} < 0. \quad \text{Окончательно}$$

получаем оптимальное решение в виде

$$u_{\max} = \begin{cases} u^*, u^* \in [0,1], \\ 1, u^* \notin [0,1] \wedge a > b, \\ 0, u^* \notin [0,1] \wedge a < b. \end{cases}$$

При $a = b = 1$ получаем $u^* = (\alpha / \beta)^{\frac{1}{\beta-\alpha}} < 1$, т.е. 100%-ная обеспеченность не оптимальна.

Проведем иллюстративные расчеты по сетке для $\alpha = 0.1, 0.3, \dots, 0.9$; $\beta = 2, 4, \dots, 10$ и различных соотношений значений параметров a и b . Результаты представлены в табл. 1-5.

Таблица 1. Значение u^* при $a = b = 1$:

$\alpha \backslash \beta$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,1	0,07	0,21	0,31	0,39	0,45	0,50	0,54	0,57	0,60
0,3	0,18	0,33	0,43	0,50	0,55	0,59	0,63	0,65	0,68
0,5	0,25	0,40	0,49	0,55	0,60	0,64	0,67	0,70	0,71
0,7	0,31	0,45	0,53	0,59	0,63	0,67	0,70	0,72	0,74
0,9	0,35	0,49	0,56	0,62	0,66	0,69	0,71	0,74	0,75

В случае равных затрат и дохода при 100% обеспеченности значение u^* возрастает при возрастании параметров α и β . Таким образом, наибольшее из возможных значение u^* получается при использовании наибольших значений параметров α и β .

Таблица 2. Значение u^* при $a = 0.1, b = 50$

$\alpha \backslash \beta$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,1	0	0,0078	0,0363	0,0789	0,1266	0,1742	0,2195	0,2615	0,3
0,3	0	0,0085	0,0427	0,0926	0,1465	0,1987	0,2472	0,2913	0,3311
0,5	0	0,0063	0,0407	0,0935	0,1507	0,2056	0,2561	0,3017	0,3426
0,7	0	0,0037	0,0356	0,0897	0,1492	0,2064	0,2587	0,3057	0,3477
0,9	0	0,0017	0,0292	0,0833	0,1446	0,2038	0,2579	0,3064	0,3494

Когда значение дохода $a \rightarrow 0$, значение u^* возрастает при увеличении параметра β . Наибольшее значение u^* получается при использовании наибольших возможных значений параметров α и β .

Таблица 3. Значение u^* при $a = 25, b = 50$

$\alpha \backslash \beta$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,1	0,0358	0,1435	0,2437	0,3251	0,3907	0,4442	0,4886	0,526	0,558
0,3	0,0665	0,2179	0,3297	0,4117	0,4742	0,5235	0,5635	0,5966	0,6246
0,5	0,0625	0,25	0,3701	0,4529	0,5139	0,5611	0,5989	0,63	0,656
0,7	0,0302	0,2617	0,3929	0,478	0,5388	0,585	0,6216	0,6514	0,6762
0,9	0,0003	0,2577	0,4052	0,4942	0,5558	0,6018	0,6377	0,6667	0,6908

Когда значение $a = \frac{b}{2}$, значение u^* возрастает при возрастании параметра β . Наибольшее значение u^* получается при использовании наибольших возможных значений параметров α и β .

Таблица 4. Значение u^* при $a = 50, b = 0.1$

$\alpha \backslash \beta$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,1	77,22	5,44	2,64	1,91	1,60	1,43	1,33	1,26	1,21
0,3	1284,40	12,68	4,26	2,66	2,06	1,76	1,58	1,46	1,38
0,5	62500	25	5,87	3,26	2,39	1,97	1,73	1,58	1,48
0,7	302152933,14	53,14	7,92	3,88	2,69	2,15	1,86	1,68	1,55
0,9	3,4050628916016E+26	137,51	10,87	4,59	3,00	2,33	1,98	1,76	1,62

В случае, когда затраты агента $b \rightarrow 0$, оптимальная доля установленных счетчиков от максимального числа u^* максимальна и равна 1 при любых значениях параметров α и β .

Таблица 5. Значение u^* при $a = 50, b = 25$

$\alpha \backslash \beta$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,1	0,17	0,30	0,39	0,46	0,52	0,56	0,60	0,63	0,65
0,3	0,48	0,50	0,55	0,60	0,64	0,67	0,69	0,71	0,73
0,5	1	0,63	0,64	0,67	0,70	0,72	0,74	0,76	0,77
0,7	3,07	0,76	0,72	0,73	0,74	0,76	0,77	0,79	0,80
0,9	357,05	0,91	0,78	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82

Распределение u^* при возрастании параметра β зависит от текущего значения параметра α , т.е. выгодно брать наибольшее значение α .

2.2 ТЕОРЕТИКО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ С СИММЕТРИЧНЫМИ ИГРОКАМИ

Рассмотрим игру в нормальной форме с тремя игроками: местный орган управления ($i=1$), товарищество собственников жилья ($i=2$) и энергетическая компания ($i=3$). В общем виде модель можно записать как

$$g_i(u_1, u_2, u_3) \rightarrow \max, \quad u_i \in U_i, \quad i = 1, 2, 3,$$

и основную задачу представляет идентификация функций выигрыша g_i , осуществляемая по методике последовательного

усложнения с использованием экспертных оценок (см. раздел 3). Возьмем в качестве примера

$$g_i(u_1, u_2, u_3) = a_i(u_1 + u_2 + u_3)^{\alpha_i} - 0.5b_i u_i^2, \\ a_i > 0, b_i > 0, 0 \leq \alpha_i \leq 1, i = 1, 2, 3;$$

u_i - доля бюджета развития игрока i , ассигнуемая на инновации в электроэнергетике;

g_i - доход игрока i от этих инноваций.

Для нахождения равновесий по Нэшу надо решить систему уравнений

$$0 = \frac{\partial g_i(u)}{\partial u_i} = a_i \alpha_i (u_1 + u_2 + u_3)^{\alpha_i - 1} - b_i u_i, \quad i = 1, 2, 3.$$

В общем виде требуется численное решение. В частном случае $a_i \equiv a, b_i \equiv b, \alpha_i \equiv \alpha$ получаем

$$bu_1 = bu_2 = bu_3 = bu = a\alpha(3u)^{\alpha-1}, \text{ откуда } u^* = [3^{\alpha-1} a\alpha / b]^{\frac{1}{2-\alpha}}.$$

$$\text{В безразмерном варианте } a = b = 1 \text{ имеем } u^* = [3^{\alpha-1} \alpha]^{\frac{1}{2-\alpha}}.$$

2.3 ТЕОРЕТИКО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ ГЕРМЕЙЕРА – ВАТЕЛЯ

Изученная в [4] модель может быть записана в виде

$$(1) \quad g_i(u_1, u_2, u_3) = \lambda_i h_i(u_i) + G(y_1, y_2, y_3) \rightarrow \max, \\ y_i = a_i - u_i, \quad i = 1, 2, 3.$$

Таким образом, каждый игрок располагает ресурсом a_i , который он распределяет между частным интересом $h_i(u_i)$, зависящим только от его собственных действий, и общим интересом G , зависящим от действий всех игроков. В [4]

доказано, что при монотонных функциях $h_i(u_i)$ и G в игре (1) существует хотя бы одно Парето-оптимальное равновесие по Нэшу. Рассмотрим случай двух игроков, тогда Парето-оптимальное равновесие по Нэшу будет сильным равновесием. Положим для простоты $a_1 = a_2 = 1$, т.е. каждый игрок располагает единичным ресурсом (бюджетом развития). Пусть функции выигрыша имеют вид

$$(2) \quad g_1(u_1, u_2) = 2\sqrt{u_1} + 2\sqrt{2 - u_1 - u_2} \rightarrow \max, \quad 0 \leq u_1 \leq 1,$$

$$(3) \quad g_2(u_1, u_2) = 2\sqrt{u_2} + 2\sqrt{2 - u_1 - u_2} \rightarrow \max, \quad 0 \leq u_2 \leq 1,$$

где u_i - часть бюджета развития, ассигнуемая игроком i на его частные интересы; $1 - u_i$ - оставшаяся часть бюджета, ассигнуемая игроком i на финансирование инноваций (которое предполагается общим интересом обоих игроков), $i=1,2$. Тогда можно показать, что ситуация $\left(\frac{2}{3}, \frac{2}{3}\right)$ является сильным

равновесием в игре (2)-(3), т.е. две трети бюджета каждый игрок ассигнует на частные интересы, треть – на стимулирование инноваций. При этом игроки получают одинаковые

выигрыши $g_1\left(\frac{2}{3}, \frac{2}{3}\right) = g_2\left(\frac{2}{3}, \frac{2}{3}\right) = \frac{4\sqrt{6}}{3}$. Заметим, что если

рассмотреть игру (2) – (3) в иерархической постановке с ведущим первым игроком, то равновесие по Штакельбергу

имеет вид $\left(\frac{2}{3}, \frac{1}{6}\right)$, при этом выигрыш ведущего игрока

$g_1\left(\frac{2}{3}, \frac{1}{6}\right) = 2\left(\sqrt{\frac{2}{3}} + \sqrt{\frac{7}{6}}\right)$ больше выигрыша ведомого игрока

$g_2\left(\frac{2}{3}, \frac{1}{6}\right) = 2\left(\sqrt{\frac{1}{6}} + \sqrt{\frac{7}{6}}\right)$ и больше выигрыша в сильном равновесии.

Главная проблема здесь заключается в идентификации функций выигрыша (1), поскольку ясно, что при их виде, отличном от (2) – (3), оптимальное распределение ассигнований будет иным. Например, рассмотрим модель вида

$$g_1(u_1, u_2) = \sqrt{2 - u_1 - u_2} - u_1 \rightarrow \max, \quad 0 \leq u_1 \leq 1;$$

$$g_2(u_1, u_2) = \sqrt{2 - u_1 - u_2} - u_2 \rightarrow \max, \quad 0 \leq u_2 \leq 1.$$

Легко убедиться, что здесь ситуация «чистого альтруизма» (0,0) является сильным равновесием и совпадает с равновесием по Штакельбергу, при этом выигрыши игроков равны: $g_1(0,0) = g_2(0,0) = \sqrt{2}$.

2.4 ТЕОРЕТИКО-ИГРОВАЯ ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Рассмотрим иерархическую игру, в которой первый игрок – ведущий (с правом первого хода), второй – ведомый. Ведущий стремится заинтересовать ведомого во внедрении инноваций. Модель имеет вид

$$g_1(u_1, u_2) \rightarrow \max, \quad u_1 \in U_1;$$

$$g_2(u_1, u_2) \rightarrow \max, \quad u_2 \in U_2.$$

Рассмотрим в качестве примера игру

$$g_1(u_1, u_2) = a_1 u_1 - 0.5 b_1 u_1^2 + c_1 u_2 \rightarrow \max, \quad 0 \leq u_1 \leq 1;$$

$$g_2(u_1, u_2) = a_2 u_2 - 0.5 b_2 u_2^2 + c_2 u_1 \rightarrow \max, \quad 0 \leq u_2 \leq 1.$$

Здесь u_i – доля бюджета развития игрока i , ассигнуемая на инновации в электроэнергетике (установку счетчиков «Аргус»);

g_i - общий доход игрока i от инноваций в ситуации (u_1, u_2) .
Найдем сначала равновесие по Штакельбергу:

$$\frac{\partial g_2}{\partial u_2} = a_2 - b_2 u_2 \Rightarrow u_2^* = R_2(u_1) = \frac{a_2}{b_2};$$

$$\frac{\partial g_1(u_1, u_2^*)}{\partial u_1} = a_1 - b_1 u_1 \Rightarrow u_1^* = \frac{a_1}{b_1};$$

$ST_1 = \left\{ \left(\frac{a_1}{b_1}, \frac{a_2}{b_2} \right) \right\}$ и является также равновесием Нэша, т.к.

уравнения $\frac{\partial g_1}{\partial u_1} = 0, \quad \frac{\partial g_2}{\partial u_2} = 0$ независимы. Теперь найдем

равновесие в игре Γ_2 , используя теорему Гермейера [5].

Теорема Гермейера. Пусть функции выигрыша первого и второго игроков $M_1(x_1, x_2), M_2(x_1, x_2)$ непрерывны на компактах X_1, X_2 (множествах допустимых управлений игроков). Введем следующие функции: стратегию наказания игрока 2 $x_1^P(x_2)$ по правилу $M_2(x_1^P, x_2) = \min_{x_1 \in X_1} M_2(x_1, x_2)$, и

доминирующую стратегию игрока 1 $x_1^D(x_2)$, которая удовлетворяет условию $M_1(x_1^D, x_2) = \max_{x_1 \in X_1} M_1(x_1, x_2)$. Кроме

того, введем величины и множества:

$$L_2 = \max_{x_2 \in X_2} M_2(x_1^P(x_2), x_2);$$

$$E_2 = \{x_2 \in X_2 : M_2(x_1^P(x_2), x_2) = L_2\};$$

$$D_2 = \{(x_1, x_2) \in X_1 \times X_2 : M_2(x_1, x_2) > L_2\};$$

$$K_1 = \sup_{(x_1, x_2) \in D_2} M_1(x_1, x_2) \leq M_1(x_1^\varepsilon, x_2^\varepsilon) + \varepsilon$$

$$(D_2 = \emptyset \Rightarrow K_1 = -\infty);$$

$$K_2 = \min_{x_2 \in E_2} \max_{x_1 \in X_1} M_1(x_1, x_2).$$

Тогда гарантированный выигрыш игрока 1 (ведущего) в игре Γ_2 (игре, в которой первый игрок имеет информацию о выборе второго игрока) равен $w_1 = \max(K_1, K_2)$, а соответствующая ε -оптимальная гарантирующая стратегия имеет вид

$$\tilde{x}_1^\varepsilon(x_2) = \begin{cases} x_1^\varepsilon, & x_2 = x_2^\varepsilon, K_1 > K_2, \\ x_1^D(x_2), & x_2 \in E_2, K_1 \leq K_2, \\ x_1^P(x_2), & \text{иначе.} \end{cases}$$

где x_1^ε и x_2^ε описаны выше.

$$\text{В нашем примере } u_1^D(u_2) \equiv \frac{a_1}{b_1}; \quad u_1^P(u_2) \equiv 0;$$

$$L_2 = \max_{0 \leq u_2 \leq 1} g_2(0, u_2) = g_2(0, \frac{a_2}{b_2}) = \frac{a_2^2}{2b_2};$$

$$E_2 = \{(\frac{a_2}{b_2})\};$$

$$D_2 = \{(u_1, u_2) : g_2(u_1, u_2) > L_2\};$$

$$K_2 = g_1(u_1^*, u_2^*) = \frac{a_1^2}{2b_1} + \frac{a_2 c_1}{b_2}; \quad \text{для нахождения величины}$$

K_1 надо решить задачу

$$a_1 u_1 - 0.5 b_1 u_1^2 + c_1 u_1 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} a_2 u_2 - b_2 u_2^2 + c_2 u_2 > \frac{a_2^2}{2b_2} & , \text{откуда вновь} \\ 0 \leq u_1 \leq 1, \quad 0 \leq u_2 \leq 1 \end{cases}$$

$$(30) \quad u_1^* = \frac{a_1}{b_2}, \quad u_2^* = \frac{a_2}{b_2}, \quad K_1 = \frac{a_2^2}{2b_2} + \frac{a_1 c_2}{b_1}.$$

В силу $E_2 = \{u_2^*\}$ при любом соотношении K_1, K_2 получаем

$$\tilde{u}_1^*(u_2) = \begin{cases} \frac{a_1}{b_1}, & u_2 = \frac{a_2}{b_2}, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

т.е. в данном случае решения игр Γ_1 и Γ_2 совпадают. Проблема в том, что вопрос об идентификации параметров a_i, b_i, c_i остается открытым.

2.5 КООПЕРАТИВНО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ

Удобной кооперативно-игровой моделью служат так называемые игры голосования [11]. Игра голосования с характеристической функцией v определяется формулой

$$(4) \quad v(K) = \begin{cases} 1, & \sum_{i \in K} q_i \geq Q, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Здесь величина $q_i \geq 0$ интерпретируется как число голосов, которыми располагает игрок i . Таким образом, коалиция побеждает ($v(K)=1$), если набирает не менее нужного числа голосов Q , и проигрывает в противном случае. Удобно задавать игру голосования строкой $(Q; q_1, \dots, q_n)$.

В рассматриваемой модели игроками являются местный орган управления ($i=1$), товарищество собственников жилья ($i=2$) и энергетическая компания ($i=3$). В общем случае можно интерпретировать q_i как комплексный ресурс игрока i , а Q - пороговое значение ресурса, при котором интеграция является эффективной. В качестве примера будем придерживаться трактовки, согласно которой Q - стоимость реализации инновационного инвестиционного проекта (например, установка интеллектуальных счетчиков потребления электроэнергии), q_i - сумма, которую игрок i готов инвестировать в проект. Проект может быть выполнен, если

участники (все или некоторые) совместно инвестируют в его реализацию необходимую сумму Q .

Рассмотрим игру голосования вида (4). В предложенной трактовке выигрывающими являются те и только те коалиции, которые располагают необходимыми средствами для реализации инвестиционного проекта, а решение игры показывает принцип распределения доходов от его реализации.

Положим для определенности $q_1 < q_2 < q_3$, то есть упорядочим участников по возрастанию их готовности инвестировать в проект. Будем считать также, что $q_1 + q_2 > q_3$ (в противном случае инвестиционный ресурс третьего игрока превосходит суммарный ресурс двух остальных, и объединение становится существенно неравноправным). Очевидно, что представляет интерес рассмотрение проектов, стоимость реализации которых находится в диапазоне $Q \in (q_3, q_1 + q_2 + q_3]$. Действительно, если $Q \leq q_3$, то третий игрок может реализовать проект самостоятельно, и необходимости в объединении не возникает. Если же $Q > q_1 + q_2 + q_3$, то даже объединения ресурсов всех игроков все равно недостаточно для реализации проекта. Проведем анализ всех возможных случаев соотношения ресурсов игроков и стоимости проекта при сделанных предположениях.

1. $q_3 < Q \leq q_1 + q_2$.

В этом случае все одноэлементные коалиции проигрывающие, а все двухэлементные и максимальная коалиция – выигрывающие. Игра симметрична, С-ядро в ней отсутствует. Вектор Шепли имеет вид $\Phi(v) = (\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$, то есть

в этом распределении все игроки получают одинаковую долю дохода от реализации проекта. Имеется устойчивое множество

$$B_{\frac{1}{2}} = \left\{ \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0 \right), \left(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2} \right), \left(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right) \right\}, \text{ которое представляет}$$

собой так называемое дискриминирующее решение. Это означает, что те два игрока, которые первыми объединятся и

создадут выигрывающую коалицию, исключают третьего игрока из распределения дохода, деля его поровну между собой.

$$2. q_1 + q_2 < Q \leq q_1 + q_3.$$

Здесь участия третьего игрока необходимо и достаточно, чтобы неоднородная коалиция была выигрывающей, поэтому $C(v) = \{(0,0,1)\}$, $\Phi(v) = (\frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{2}{3})$. Хотя третий игрок

не является здесь в полном смысле слова диктатором, но его роль в инвестировании существенно выше, чем у двух других игроков, поэтому в C -ядре он забирает весь доход полностью, а в более демократичном векторе Шепли – две трети дохода (оставшаяся треть делится поровну между первым и вторым игроками).

$$3. q_1 + q_3 < Q \leq q_2 + q_3.$$

Здесь в системе для определения C -ядра ненулевую правую часть имеют соотношения $x_2 + x_3 \geq 1$, $x_1 + x_2 + x_3 = 1$,

поэтому $C(v) = \{(0, x_2, x_3), x_2 + x_3 = 1, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0\}$. Из соображений симметрии и неучастия первого игрока получаем вектор Шепли в виде $\Phi(v) = (0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$. Таким образом, здесь

основную роль в инвестировании играют более сильные второй и третий игроки, которые и делят между собой инвестиционный доход, исключая первого игрока из распределения.

$$4. q_2 + q_3 < Q \leq q_1 + q_2 + q_3.$$

Здесь $C(v) = \emptyset$, $\Phi(v) = (\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$, единственной

выигрывающей коалицией является максимальная (то есть для реализации проекта требуется обязательное объединение усилий всех игроков, которые в этом случае делят инвестиционный доход поровну).

3. Модели борьбы с хищениями электроэнергии

Эта проблема также является весьма актуальной. Так, по данным следственного управления Следственного комитета РФ по Ростовской области, в 2012 году группа сотрудников ОАО «Донэнерго», состоящая из электромонтеров и руководителей отделов по передаче электроэнергии, незаконно получала денежные средства. Именно, при снятии показаний счетчиков электроэнергии инспекторы-контролеры, находящиеся в сговоре с потребителями, вносят незаконные изменения в учетные единицы (ставят перемычки, перематывают счетчики) в сторону значительного уменьшения количества потребляемой энергии.

Рассмотрим иерархическую систему вида



Структурная схема экономических отношений в проблеме борьбы с хищениями (уменьшением показателей потребления электроэнергии) выглядит следующим образом:

Выигрыш принципала = доход от продаж э/энергии – затраты на премию супервайзору – затраты на контроль хищений.

Выигрыш супервайзора = премия + «откат» – штраф при поимке.

Выигрыш агента = доход от недоплаты – «откат».

Обозначим: p - доля от дохода компании, идущая на премию работнику; q - доля выявленных случаев подлога; b - доля «отката»; s - сообщаемое контролером значение энергопотребления (КВт-ч); r - истинное значение энергопотребления (КВт-ч); c - цена 1 Квт-ч электроэнергии (руб/ КВт-ч); ($c=3.45$) a - затраты компании на выявление всех случаев подлога (руб); M - штраф за подлог (руб/ КВт-ч).

Тогда имеем: cs - доход компании; pcs - премия работника; $c(r-s)$ - цена скрытого энергопотребления (доход от недоплаты); $bc(r-s)$ - «откат»; aq - затраты компании на контроль; $Mq(r-s)$ - штраф при выявлении подлога в размере $r-s$.

Модель можно записать в виде

$$(5) \quad \begin{aligned} g_p(p, q, s) &= (1-p)cs - aq \rightarrow \max, \\ 0 \leq p \leq 1, \quad 0 \leq q \leq 1; \end{aligned}$$

$$(6) \quad \begin{aligned} g_s(p, q, s, b) &= pcs + (bc - Mq)(r-s) \rightarrow \max, \\ 0 \leq s \leq r; \end{aligned}$$

$$(7) \quad g_A(s, b) = c(1-b)(r-s) \rightarrow \max, \quad 0 \leq b \leq 1.$$

Рассмотрим сначала ситуацию с позиции агента с функцией выигрыша (7). Предположим, что функция «информационной коррупции» $s = s(b)$ известна.

В простейшем случае будем считать ее линейной функцией величины взятки:

$$(8) \quad s(b) = r(1-b).$$

Таким образом, в отсутствие коррупции ($b = 0$) контролер сообщает принципалу истинное значение потребления $s = r$, а при максимально возможном «откате» $b = 1$ не показывает потребление вообще ($s = 0$).

Тогда задача оптимизации агента имеет вид

$$g_A(b) = crb(1-b) \rightarrow \max, \quad 0 \leq b \leq 1,$$

ее очевидное решение $b^* = 1/2$, при этом

$$s^* = r/2, \quad g_A(b^*) = cr/4,$$

$$cb^*(r - s^*) = cr/4, \quad g_p(p, q, s^*) = (1-p)cr/2 - aq,$$

т.е. при 50%-ном «откате» половина (!) максимально возможного (при объективных значениях показателей) дохода компании поровну распределяется между коррупционными доходами супервайзора и агента, а доход компании соответственно составляет менее половины от максимально возможного с учетом затрат на премии супервайзору и контроль хищений.

Здесь вновь основная проблема заключается в идентификации функции $s = s(b)$, наиболее адекватно отражающей реальный процесс коррупции, поскольку формула (8) дает лишь первое приближение. Так, более общая степенная параметризация вида $s(b) = r(1-b)^k$ приводит к результатам

$$b^* = 1 - \frac{1}{(k+1)^{1/k}}, \quad s^* = \frac{r}{k+1},$$

лишь вариант $k \geq 1$, поскольку иначе контролеру выгодно завышать показания счетчиков. Тем не менее, уже эти простейшие предположения показывают наличие серьезных экономических оснований для коррупции.

Численные исследования проводились для функций коррупции следующего вида:

$$1. s(b) = R * (2 - e^{\ln 2 * b}), B^*=0,55, S^*=5402,72.$$

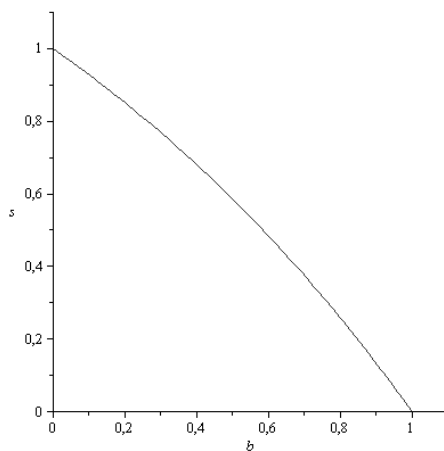


Рис.1. $B^*=0,55, S^*=5402,72$.

Здесь результаты идентичны случаю линейной функции.

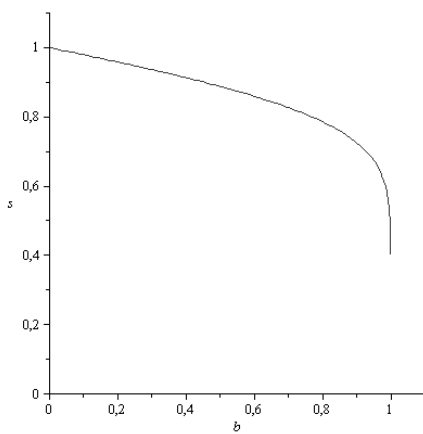
$$2. s(b) = R * (1 - b)^a * e^{(-t*b)}.$$

Рассмотрим несколько характерных значений параметров.

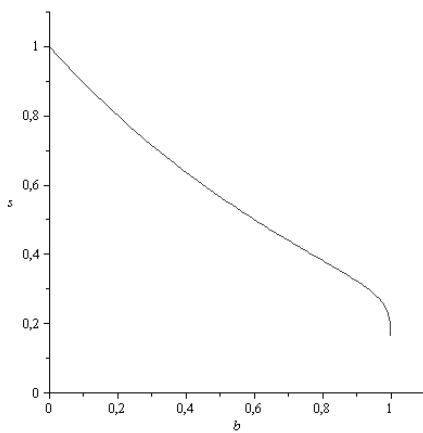
Таблица 6. $a=0.1$

t	b^*	s^*
0.1	0,55	8734,52
0.3	0,51	8009,79
0.5	0,48	7358,14
0.9	0,45	6273,88
1	0,44	6041,83
2	0,39	4325,37
3	0,36	3296,26
4	0,32	2628,99
10	0,22	1118,71

$S(b)$: ($t=0.1$, $t=1$, $t=10$)



Puc. 2



Puc. 3

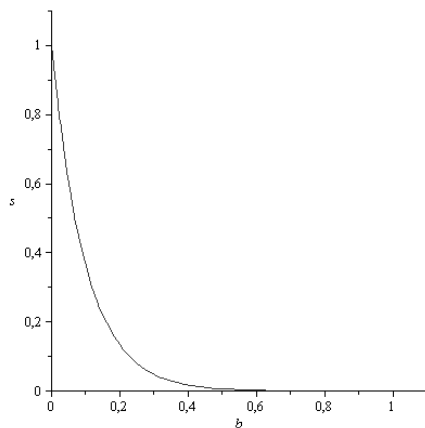


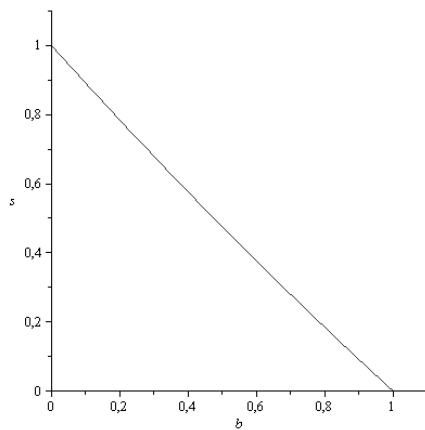
Рис. 4

$a=1$

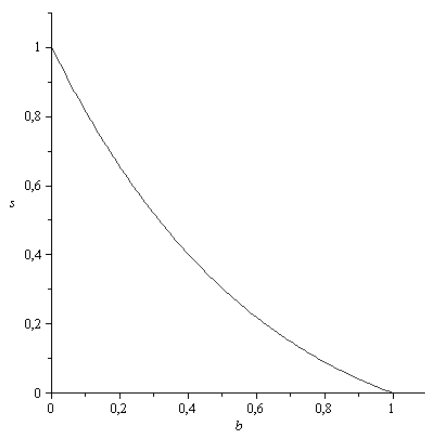
Таблица 7.

t	b*	s*
0.1	0,49	4875,14
0.3	0,47	4630,19
0.5	0,45	4394,89
0.9	0,42	3966,00
1	0,41	3868,23
2	0,37	3057,93
3	0,33	2492,92
4	0,30	2086,72
10	0,21	1006,30

$S(b)$: ($t=0.1$, $t = 1$, $t=10$)



Puc. 5



Puc. 6

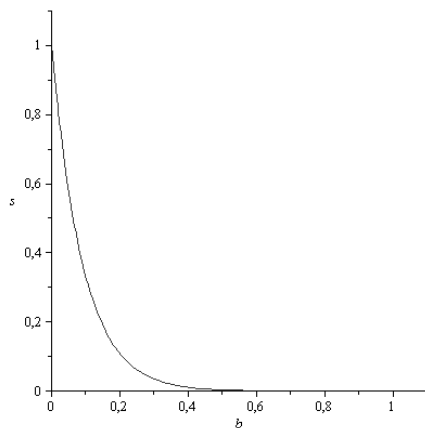


Рис. 7

Таблица 8, $a = 2$

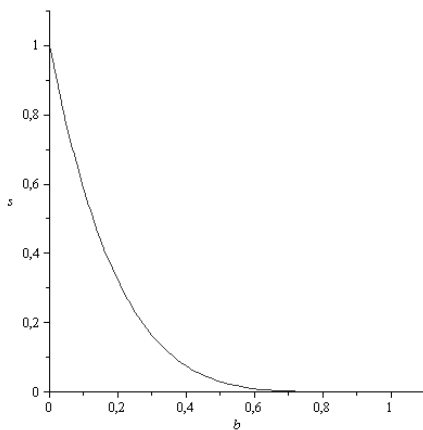
T	b^*	s^*
0.1	0,42	3269,29
0.3	0,40	3145,55
0.5	0,39	3027,18
0.9	0,37	2805,64
1	0,37	2754,13
2	0,33	2305,15
3	0,30	1963,21
4	0,28	1699,48
10	0,20	905,99

Таблица 9, $a = 5$

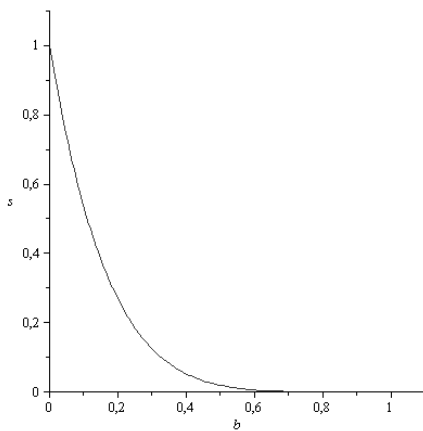
t	b^*	s^*
0.1	0,30	1647,63
0.3	0,29	1609,46
0.5	0,29	1573,69
0.9	0,28	1503,90
1	0,28	1488,13
2	0,26	1336,67

3	0,24	1208,41
4	0,23	1100,41
10	0,17	700,25

$S(b)$: ($t=0.1$, $t=1$, $t=10$)



Puc. 8



Puc. 9

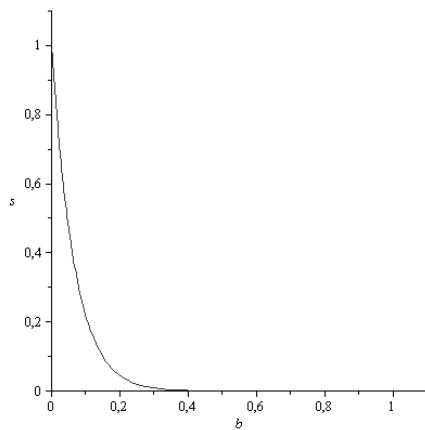
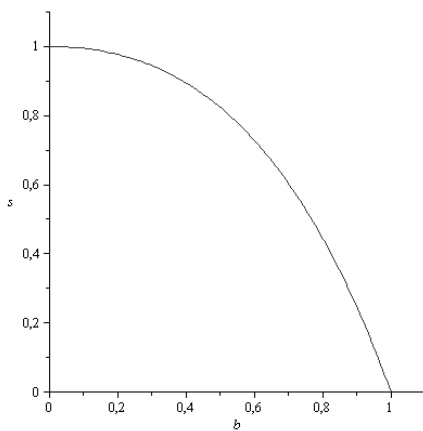


Рис. 10

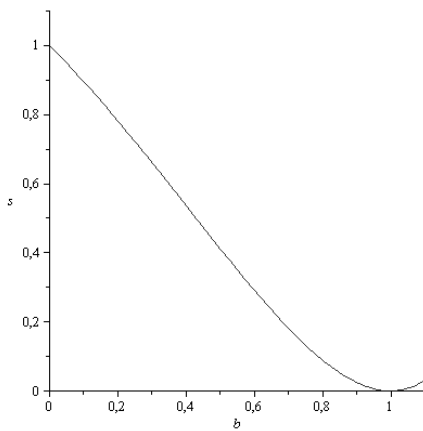
Таблица 10, $t = -1$

a	b^*	s^*
1	0,71	5831,78
2	0,51	3982,35
3	0,42	2920,17
4	0,37	2289,16
10	0,23	977,72

$S(b)$ ($a=1$ $a=2,a=3,a=10$):



Puc. 11



Puc. 12

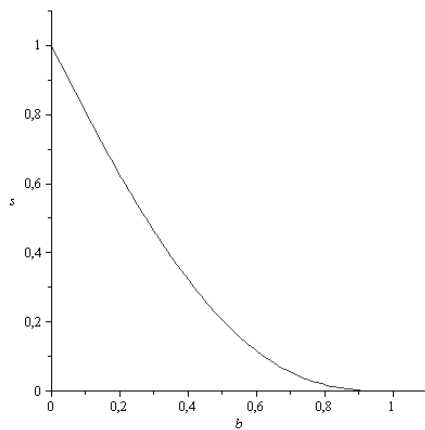


Рис. 13

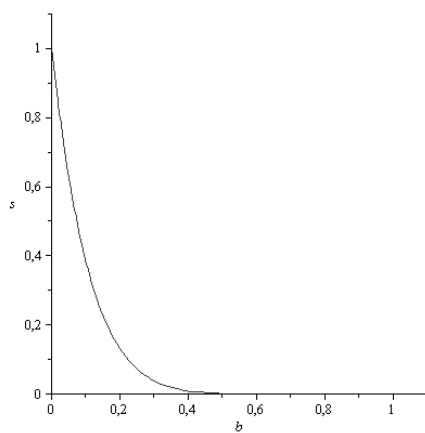


Рис. 14

Таблица 11, $t = -2$

a	b^*	s^*
2	0,66	4305,55
3	0,51	3320,61
4	0,42	2602,10
10	0,24	1055,30

Таблица 12, $t=-5$

a	b^*	s^*
5	0,57	2610,87
10	0,29	1339,24

$S(b)$ ($a=5, 10, 2$)

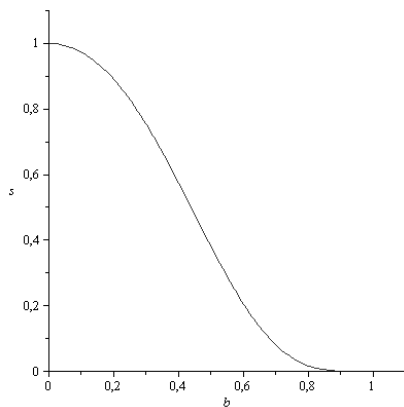


Рис. 15

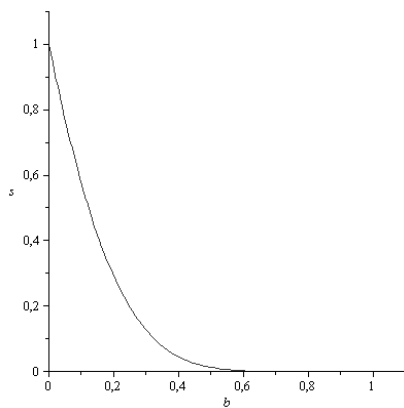


Рис. 16

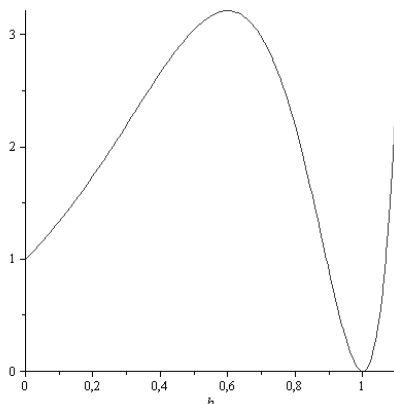


Рис. 17

При отрицательных значениях параметра t возможны ситуации (при $a < t$), когда функция коррупции принимает значения, большие истинной величины потребления.

В случаях, когда параметры t и a возрастают (как вместе, так и раздельно), возникает ситуация, в которой, несмотря на малую долю отката, супервайзор сообщает значительно меньший уровень потребления, чем реальный. Можно предположить, что параметры t и a некоторым образом описывают «приятельские» отношения между агентом и супервайзором, при которых второй за «чисто символическую» плату сильно искажает информацию в пользу первого.

Далее, рассматривая задачу оптимизации супервайзора (6), получаем условие неманипулируемости механизма передачи информации о потреблении электроэнергии:

$$(9) \quad Mq \geq c(b - p).$$

В этом случае $s^* = r$, т.е. супервайзору выгодно сообщать истинное значение энергопотребления. Заметим, что при нарушении условия (9) супервайзору, напротив, выгодно вообще не показывать энергопотребление ($s^* = 0$).

Теперь рассмотрим иерархическую игру Γ_2 (6)-(7) супервайзора и агента, считая управления принципала p, q параметрами. Получаем

$$s^P(b) \equiv r; \quad s^D(b) = \begin{cases} r, & Mq \geq c(b-p); \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$L_A = 0; \quad E_A = [0,1] = X_A;$$

$$D_A = \{(s,b) : (1-b)(r-s) > 0\} = [0,r] \times [0,1];$$

$$K_2 = \min_{0 \leq b \leq 1} \max_{0 \leq s \leq r} g_s(s,b) = \max_{0 \leq s \leq r} (pc + Mq)s = (pc + Mq)r;$$

Для нахождения величины K_1 надо решить задачу

$$\begin{aligned} (pc + Mq - bc)s &\rightarrow \max \\ (1-b)(r-s) &> 0, \quad 0 \leq b \leq 1, \quad 0 \leq s \leq r; \quad \text{или} \\ (pc + Mq - bc)s &\rightarrow \max \\ 0 \leq b < 1, \quad 0 \leq s < r \end{aligned} \quad , \text{откуда}$$

$K_1 = (pc + Mq)(r - \varepsilon) < K_2$, поэтому оптимальная гарантирующая стратегия супервайзора (т.е. механизм управления, который он сообщает агенту в качестве правила своего поведения) имеет вид

$$\tilde{s}^*(b) = \begin{cases} r, & Mq > c(b-r), \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Это правило побуждает агента выбирать долю отката из условия $b > r + Mq/c$, чтобы избежать применения супервайзором стратегии наказания $s^P(b) = r$.

Итак, при любом «откате» супервайзору выгодно сообщать истинную информацию об энергопотреблении, если выполнено условие неманипулируемости (9), и вообще не показывать (на практике – максимально занижать) его значение, если условие (9) нарушается. Поэтому для борьбы с хищениями принципал должен обеспечить выполнение условия (9) различными методами иерархического управления (принуждением или побуждением) [9].

Принуждение ($p = \text{const}$).

$$\begin{aligned}
 & -aq \rightarrow \max \quad aq \rightarrow \min \\
 & 0 \leq q \leq 1 \quad \text{или} \quad \frac{c(b-p)}{M} \leq q \leq 1. \\
 & q \geq \frac{c(b-p)}{M}
 \end{aligned}$$

Очевидным решением этой задачи является

$$q^* = \begin{cases} 1, & \frac{c(b-p)}{M} > 1, \\ \frac{c(b-p)}{M}, & 0 \leq \frac{c(b-p)}{M} \leq 1, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Побуждение ($q = \text{const}$).

$$\begin{aligned}
 & cs(1-p) \rightarrow \max \quad cs(1-p) \rightarrow \max \\
 & 0 \leq p \leq 1 \quad \text{или} \quad b - \frac{Mq}{c} \leq p \leq 1. \\
 & p \geq b - \frac{Mq}{c}
 \end{aligned}$$

Эта задача также имеет очевидное решение

$$p^* = \begin{cases} 1, & b - \frac{Mq}{c} > 1, \\ b - \frac{Mq}{c}, & 0 \leq b - \frac{Mq}{c} \leq 1, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Ясно, что чем больше доля «отката», тем значительнее должны быть усилия принципала по борьбе с коррупцией как административными, так и экономическими методами. При некоторых значениях параметров оптимальное решение становится экономически нереальным (принципал должен отдать все средства на премию или контроль).

4. Проблемы идентификации моделей

Как видно из проведенного анализа, ключевую роль в практическом использовании моделей мотивационного управления в электроэнергетике (как и в других областях) играет идентификация моделей. Рассмотрим, например, возможные безразмерные постановки теоретико-игровой модели стимулирования и их решения (равновесия по Штакельбергу при ведущем первом игроке):

$$(10) \quad \begin{aligned} g_1(u_1, u_2) &= u_1 - 0.5u_1^2 + u_2 \rightarrow \max, & 0 \leq u_1 \leq 1; \\ g_2(u_1, u_2) &= u_2 - 0.5u_2^2 + u_1 \rightarrow \max, & 0 \leq u_2 \leq 1. \end{aligned}$$

$$ST = \{(1,1)\}; \quad g_1^* = 1.5; \quad g_2^* = 1.5;$$

$$(11) \quad \begin{aligned} g_1(u_1, u_2) &= u_1 - u_1^2 + u_2 \rightarrow \max, & 0 \leq u_1 \leq 1; \\ g_2(u_1, u_2) &= u_2 - u_2^2 + u_1 \rightarrow \max, & 0 \leq u_2 \leq 1. \end{aligned}$$

$$ST = \{(1/2, 1/2)\}; \quad g_1^* = 0.75; \quad g_2^* = 0.75;$$

$$(12) \quad \begin{aligned} g_1(u_1, u_2) &= u_1 u_2 - u_1^2 \rightarrow \max, & 0 \leq u_1 \leq 1; \\ g_2(u_1, u_2) &= u_1 u_2 - u_2^2 \rightarrow \max, & 0 \leq u_2 \leq 1. \end{aligned}$$

$$ST = \{(0,0)\}; \quad g_1^* = 0; \quad g_2^* = 0;$$

$$(13) \quad \begin{aligned} g_1(u_1, u_2) &= u_1 u_2 - 0.5u_1^2 \rightarrow \max, & 0 \leq u_1 \leq 1; \\ g_2(u_1, u_2) &= u_1 u_2 - 0.5u_2^2 \rightarrow \max, & 0 \leq u_2 \leq 1. \end{aligned}$$

$$ST = \{(1,1)\}; \quad g_1^* = 0.5; \quad g_2^* = 0.5.$$

Таким образом, результат существенно зависит от идентификации моделей. В модели (10) оба игрока должны

предпринимать максимальные усилия, что приносит равную высокую прибыль обоим. В модели (11), в которой затраты увеличиваются вдвое, игрокам достаточно предпринимать половинные усилия, но и прибыль снижается вдвое. В модели (12) высокие по сравнению с ожидаемым доходом затраты ведут к тому, что в равновесии по Штакельбергу обоим игрокам выгодно ничего не делать (соответственно, и прибыль равна нулю). Попытка предпринять положительные усилия приведет к убыткам, то есть в этой ситуации игроки должны ждать наступления более благоприятных условий. А вот в модели (13), где по сравнению с (12) затраты снижаются вдвое, уже выгодно предпринимать максимальные усилия, хотя в силу менее благоприятных условий по сравнению с моделями (10) и (11) прибыль игроков меньше.

Итак, подбирая различные модели, можно получить качественно различные результаты. Конечно, подбор должен осуществляться не с помощью произвольной манипуляции, а на основании содержательных экспертных оценок конкретной ситуации.

Формальные подходы к решению задачи идентификации математических моделей предлагают теория идентификации [7] и эконометрика [6]. В рамках авторского подхода решение задач идентификации основывается на построении «генетических рядов» математических моделей [12]. Это направление представляется ключевым при ответе на вопрос «могут ли математические модели адекватно описывать сложные системы?» Идея подхода заключается в следующем. Сначала строится максимально простая модель, отражающая лишь самые существенные черты моделируемого объекта. Как правило, такая модель содержит совсем небольшое число параметров и допускает явное аналитическое исследование. После того, как это исследование проведено и получены определенные результаты, становится ясно, в чем ограниченность модели, какие свойства реального объекта она не описывает. Тогда модель усложняется в нужном направлении, и процедура повторяется. Возникающая последовательность усложняющихся

моделей одного и того же объекта в пределе позволяет описать его поведение с любой требуемой точностью («истина как предел»).

Решение задачи идентификации включает четыре этапа:

- а) *дескриптивная* идентификация – выбор класса математических моделей, используемых для описания проблемы и решения связанной с ней задачи;
- б) *структурная* идентификация – выбор вида функций, образующих модель данного класса;
- в) *параметрическая* идентификация – установление физического смысла и способа измерения параметров модели;
- г) *числовая* идентификация – выбор значений параметров, участвующих в определении каждой функции (при необходимости).

Для каждого этапа целесообразно строить последовательность постепенно усложняемых математических моделей, все более точно описывающих реальность (в пределе – дающих сколь угодно точное описание). Например, для дескриптивной идентификации это могут быть последовательности типа

задача оптимизации – игра двух лиц – игра трех лиц;

задача оптимального управления – динамическая игра 2 лиц – динамическая игра 3 лиц;

для структурной идентификации – последовательности типа
линейная функция – степенная функция – более сложные функции;

для параметрической идентификации – последовательность типа
качественное оценивание – оценивание по специальной экспертной методике – точное определение способа измерения.
Возможный подход к параметрической идентификации любой функции: выбор разумной сетки (для интерпретируемых, репрезентативно различных значений переменной); экспертное оценивание значений функции по этой сетке; получение аналитического вида функции методом наименьших квадратов; для числовой идентификации – перебор значений по сетке с последовательным уменьшением шага. Некоторые примеры приведены в тексте статьи.

При усложнении по различным признакам последовательности математических моделей («генетические ряды») становятся «генетическими сетями». При этом в каждый текущий момент исследования возникает необходимость компромисса между его целями и возможностями (точностью моделирования, с одной стороны, и сложностью исследования и требованиями к его информационному обеспечению, с другой).

5. Заключение

В статье построены и исследованы простые модели мотивационного управления в электроэнергетике. Применение этих моделей позволит повысить обоснованность решения задач энергетических компаний с учетом интересов их сотрудников и клиентов. Ключевым моментом практической применимости моделей является их адекватная идентификация, которую целесообразно осуществлять на основе построения последовательностей постепенно усложняемых моделей с использованием экспертных оценок.

Литература

1. БУРКОВ В.Н., НОВИКОВ Д.А. *Теория активных систем: состояние и перспективы.* – М., 1999.
2. БУРКОВ В.Н., ГУБКО М.В., НОВИКОВ Д.А. *Организационные механизмы управления в электроэнергетике* // Управление развитием крупномасштабных систем. – М., 2012. С.261-278.
3. БУРКОВ В.Н., КОРГИН Н.А., НОВИКОВ Д.А. *Введение в теорию управления организационными системами.* – М., 2009.
4. ГЕРМЕЙЕР Ю.Б., ВАТЕЛЬ И.А. *Игры с иерархическим вектором интересов* // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1974. №3. С.54-69.
5. ГОРЕЛИК В.А., ГОРЕЛОВ М.А., КОНОНЕНКО А.Ф. *Анализ конфликтных ситуаций в системах управления.* – М., 1991.

6. ДОУГЕРТИ К. *Введение в эконометрику*. – М., 1999.
7. ЛЬЮНГ Л. *Идентификация систем. Теория для пользователя*. – М., 1991.
8. НОВИКОВ Д.А. *Теория управления организационными системами*. – М., 2005.
9. УГОЛЬНИЦКИЙ Г.А. *Иерархическое управление устойчивым развитием*. – М., 2010.
10. УГОЛЬНИЦКИЙ Г.А. *Устойчивое развитие организаций*. – М., 2011.
11. УГОЛЬНИЦКИЙ Г.А. *Модели конфликтов*. – М., 2012.
12. УГОЛЬНИЦКИЙ Г.А. *Математическое моделирование сложных систем* // Научное наследие Ю.А.Жданова и современные проблемы моделирования сложных социосистем (на материалах Юга России). – Ростов-на-Дону: изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2012. – С.32-41.
13. BAYON L., SUAREZ P., MATIAS J.M., TABOADA J. *Influence of forecasting electricity prices in the optimization of complex hydrothermal systems* // Journal of Computational and Applied Mathematics, 2009, 232, p.262-274.
14. FOLEY A.M., GALLACHOIR B.P., HUR J. et al. *A strategic review of electricity systems markets* // Energy, 2010, 35, p.4533-4530.
15. HASANI M., HOSSEINI S.H. *Dynamic assessment of capacity investment in electricity market considering complementary capacity mechanisms* // Energy, 2011, 36, p.277-293.
16. LAFFONT J.-J., MARTIMORT D. *The Theory of Incentives. The Principal-Agent Model*. – Princeton, 2002.
17. MIRZA F.M., BERGLAND O. *The impact of daylight saving time on electricity consumption: Evidence from southern Norway and Sweden* // Energy Policy, 2011, 39, p.5008-5025.
18. SHI L., ZENG M., Li L. *A Novel Electricity Marketing Model Integrating Intelligent Disaster-Recovery System* // Systems Engineering Procedia, 2012, 4, p.133-142.
19. STADLER M., KRAUSE W., SONNENSCHNIG M., VOGEL U. *Modelling and evaluation of control schemes for enhancing load shift of electricity demand for cooling devices* // Environmental Modelling and Software, 2009, 24, p.285-295.

INCENTIVE CONTROL MODELS IN ELECTRIC POWER INDUSTRY AND PROBLEMS OF THEIR IDENTIFICATION

Andrey Antonenko, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Cand. Sc., assistant (Rostov-on-Don, 8(918) 564-54-38, andrei80586@yandex.ru)

Gennady Ougolnitsky, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Doctor of Science, professor (Rostov-on-Don, Lermontovskaya st., 102, ap 30, 8(863)297-57-14, ougoln@mail.ru)

Optimization and game theoretic models of the innovations incentives and electric power theft control. Problems of the models identification that have a key importance for their applications are discussed. The results of analytical and numerical investigation are given.

Key words: hierarchical games, incentive control, optimization, identification, electric power industry