

**МОДЕЛИ И СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ  
РАЗРАБОТКОЙ И ВНЕДРЕНИЕМ  
ИННОВАЦИОННЫХ СРЕДСТВ И ТЕХНОЛОГИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО  
ТРАНСПОРТА)**

**II. МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА СТИМУЛИРОВАНИЯ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭЛЕМЕНТЫ  
СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ<sup>1</sup>**

**Бурков В. Н.<sup>2</sup>, Еналеев А. К.<sup>3</sup>,**  
(ФГБУН Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

**Строгонов В. И.<sup>4</sup>**  
(ОАО НИИАС, Москва)

*Статья состоит из двух частей. Во второй части статьи продолжено исследование механизмов управления выполнением разработок в составе сложных проектов, обеспечивающих энергоэффективность. Рассмотрена модель стимулирования энергоэффективности в последовательности реализации проектов в мультипроектной структуре. Для этой модели мы предложили оптимальный механизм. Этот механизм включает процедуру планирования, функции штрафов за невыполнение планов и функцию поощрения за результаты проекта. Функционирование системы рассматривается как игра Центра и последовательно связанных агентов, реализующих проекты. Стратегией Центра является выбор механизма. Стратегиями агентов являются сообщения Центру информации о своих параметрах и выбор результатов проектов. Информация о параметрах агентов необходима для вычисления планов на основании процедуры планирования. При этом агенты могут сообщать искаженные данные. Показано, что предложенный оптимальный механизм побуждает агентов сообщать достоверную информацию и выбирать выходы проектов, совпадающие с планами. С учетом результатов первой части статьи, а именно, исследования механизмов оценивания проектов и распределения бюджетного финансирования, предложены подхо-*

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» в рамках научного проекта №17-20-05216.

<sup>2</sup> Владимир Николаевич Бурков, д.т.н., профессор (vlab17@bk.ru).

<sup>3</sup> Анвер Касимович Еналеев, к.т.н., с.н.с. (anverena@mail.ru).

<sup>4</sup> Владимир Иванович Строгонов, д.т.н. (v.strogonov@vniias.ru).

*ды к формированию структуры системы управления реализацией комплексных проектов.*

Ключевые слова: энергоэффективность, распределение фондов, стимулирование, контроль, структура управления, организация.

## **1. Введение**

В первой части статьи (см. [3]) были описаны и исследованы механизмы отбора наиболее перспективных проектов в области разработки средств и технологий использования альтернативных видов энергии для тяги поездов, а также механизмы распределения ограниченного бюджета между отобранными комплексными проектами и их частями.

После отбора проектов и определения размеров фондов на отобранные проекты необходимо установить механизмы планирования и стимулирования выполнения работ исполнителями этих проектов. При этом следует учесть, что управляющий орган (УО), реализующий планирование и стимулирование деятельности, в меньшей степени информирован о возможностях по реализации работ, по сравнению со специалистами-исполнителями этих работ. В этих условиях УО для целей планирования и стимулирования вынужден запрашивать эту информацию у специалистов – исполнителей работ. Поскольку УО и исполнители работ имеют собственные интересы, возникает проблема исключения манипулирования информацией, сообщаемой в УО [4–6, 19, 20].

Ниже рассмотрим задачу построения согласованных организационных механизмов, обеспечивающих неманипулируемость для случая системы исполнителей (агентов), связанных между собой последовательной технологией выполнения работ.

Это рассмотрение существенно опирается на [5, 6].

Используя результаты исследований первой части статьи [3], рассмотрим во второй части статьи также дополнительные требования и возможности структурного построения системы управления научно-технической деятельностью организации, реализуемой в УО.

## 2. Элементы системы управления инновациями

### 2.1. МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА СТИМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Проекты, отобранные для разработки, как правило, являются комплексными и представляют собой систему подпроектов, бизнес процессов, мероприятий и работ, входо-выходные связи которых описываются сетевой структурой (рис. 1). Каждый элемент этого комплекса работ вносит свой вклад в энергоэффективность всего проекта. Поэтому возникает задача стимулирования каждого элемента этой структуры, отвечающего за соответствующую работу проекта.

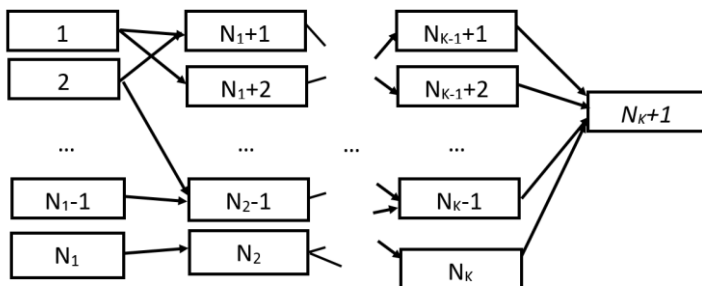


Рис. 1. Пример сетевой структуры комплексного проекта

В исследованиях [1, 9, 10] по организационному управлению разработана методология построения систем стимулирования, в основном для условий полной информации управляющего органа (УО) о моделях агентов, участвующих в реализации работ сложного проекта. Для случая неполной информированности, обычно имеющего место в задачах управления комплексными проектами, эта задача исследована только для слабо связанных друг с другом агентов [7], в то время как работы комплексного проекта связаны в последовательности их выполнения и результаты деятельности предшествующих работ сильно влияют на результаты последующих работ.

Рассмотрим здесь пример простейшей структуры работ, связанных строгой последовательностью выполнения (для более общего случая древовидной структуры связей агентов описанный подход и результаты принципиально не отличаются).

*Описание модели.*

Представим целевую функцию УО в виде

$$\Phi(x, y, r) = c_1 y_1 - z_1(x_1, y_1) - v_1(y_1, r_1) + \\ + \sum_{i=2}^n [c_i(y_i - y_{i-1}) - z_i(x_i, y_i) - v_i(y_i, r_i)],$$

где  $y_i$  – значение состояния агента, которое характеризует результат выполнения агентом  $i$ -й работы (например, удельная экономия энергоресурсов по сравнению с текущим либо установленным нормативным уровнем);  $x_i$  – устанавливаемый УО план  $i$ -й работы;  $z_i(x_i, y_i)$  – значение потерь УО от несовпадения показателя  $y_i$  с планом  $x_i$ ;  $v_i(y_i, r_i)$  – величина потерь от отклонения уровня  $y_i$  от некоторого наилучшего значения энергоэффективности  $r_i$ ;  $r_i \in [r_i^H, r_i^B]$ ,  $y_i \in [0, r_i^B]$ ,  $x_i \in [0, r_i^B]$ . Предполагается, что значение  $r_i$  задано, но неизвестно точно для УО (ему известны только допустимые границы этих параметров). Здесь  $r_i^H$  – нижнее допустимое значение показателя  $r_i$ ,  $r_i^B$  – верхнее допустимое значение этого показателя,  $c_i$  – заданные параметры, характеризующие ценность значений состояний  $y_i$  для УО.

Примем  $0 \leq y_i \leq r_i$ ,  $z_i(x_i, y_i) \geq 0$ ,  $z_i(x_i, x_i) = 0$ ,  $v_i(y_i, r_i) \geq 0$ ,  $v_i(r_i, r_i) = 0$ . Пусть  $v_i(y_i, r_i) = a_i(r_i - y_i)$ , где  $0 \leq a_i \leq c_i$ . При этом каждый агент, выполняющий  $i$ -ю работу, т.е. выбирающий значения величин  $y_i$ , знает значение  $r_i$ , а УО знает только допустимые границы этого показателя  $r_i^H$  и  $r_i^B$ . Предположим, что последовательные работы связаны друг с другом следующими соотношениями:  $r_{i+1}^H = r_i^H + \Delta_{i+1}^H$ ,  $r_{i+1}^B = r_i^B + \Delta_{i+1}^B$ ,  $i = 1, \dots, n-1$ .

Пусть целевая функция первого агента равна  $f_1(x_1, y_1, r_1) = \sigma_1(y_1) - \vartheta_1(x_1, y_1) - \omega_1(y_1, r_1)$ , где  $\sigma_1(y_1)$  – функция поощрения,  $\vartheta_1(x_1, y_1)$  – функция штрафов за отклонение состояния от плана,  $\omega_1(y_1, r_1)$  – функция затрат первого агента. Целевую функцию  $i$ -го агента (исполнителя  $i$ -й работы) представим в виде  $f_i(x_i, y_i, y_{i-1}, r_i) = \sigma_i(y_{i-1}, y_i) - \vartheta_i(x_i, y_i) - \omega_i(\delta_i, r_i)$ , где  $\sigma_i(y_{i-1}, y_i)$  – функция поощрения за результат  $y_i$  при состоянии

$y_{i-1}$  предшествующего агента,  $\mathcal{G}_i(x_i, y_i)$  – функция штрафов за отклонение состояния от плана,  $\omega_i(\delta_i, r_i)$  – функция затрат  $i$ -го агента, зависящая от вклада агента в повышение энергоэффективности. Здесь  $\delta_{i+1} = y_{i+1} - y_i$ ,  $i = 1, \dots, n-1$ ,  $\delta_1 = y_1 \geq 0$ . Будем предполагать, что  $\delta_{i+1} \geq 0$ ,  $i = 1, \dots, n-1$ .

Для упрощения анализа примем, что функции затрат с достаточной точностью аппроксимируются квадратичной функцией:  $\omega_i(\delta_i, r_i) = e_i \delta_i^2 / 2r_i$ , где  $e_i > 0$ . В функциях отражено следующее свойство: чем больше величина  $r_i$ , тем меньше значение затрат, т.е. чем больше резерв для энергоэффективности, тем меньше для агента требуется усилий.

Опишем порядок принятия решений участниками в рассматриваемой модели системы стимулирования.

Сначала УО устанавливает механизм  $\mu = \{\sigma(\cdot), \mathcal{G}(\cdot, \cdot), x(\cdot)\}$ , включающий в свой состав функции поощрения  $\sigma(\cdot)$ , функцию штрафов  $\mathcal{G}(\cdot, \cdot)$  за невыполнение плана по энергосбережению и правило  $x(\cdot) = (x_1(\cdot), \dots, x_n(\cdot))$  формирования планов  $x_i$  на основании имеющейся информации  $\rho_i$  о параметрах  $r_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

Таким образом, под механизмом стимулирования эффективности в рассматриваемой системе будем понимать совокупность связанных между собой процедур планирования, функций поощрения и функций штрафов.

Затем агенты сообщают в УО оценки  $\rho_i$  параметров  $r_i$ , на основании которых назначаются планы энергосбережения  $x_i = x_i(\rho_i)$  в соответствии с установленными процедурами  $x_i(\cdot)$ . Наконец, агенты реализуют мероприятия по энергосбережению и обеспечивают его уровень  $y_i$ . На основании этого агенту назначаются поощрения  $\sigma_i(y_{i-1}, y_i)$  и штрафы  $\mathcal{G}_i(x_i, y_i)$  по установленным функциям  $\sigma_i(\cdot, \cdot)$  и  $\mathcal{G}_i(\cdot, \cdot)$ .

Пусть показатель эффективности механизма стимулирования определяется как гарантированное значение целевой функции ОУ на множествах

$$K(\mu, r) = \inf_{\rho \in R(r)} \inf_{y \in Y(x(\rho))} \Phi(x(\rho), y, r),$$

где  $R(r)$  – множество рациональных стратегий агента при выборе сообщений  $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_n)$ ,  $Y(x)$  – множество рациональных стратегий агентов при выборе значений  $y = (y_1, \dots, y_n)$  при за-

данном плане  $x = (x_1, \dots, x_n)$ . Далее будем рассматривать механизмы, для которых множество  $R(r)$  состоит из доминантных стратегий агентов, т.е. для каждого агента существуют сообщения, доставляющие максимум его целевой функции независимо от сообщений других агентов. Множество  $Y(x)$  определяется заданной последовательностью выбора показателей  $y_i$  в соответствии с нумерацией, когда  $i$ -й агент максимизирует свою целевую функцию при известных плане и показателе  $y_{i-1}$  предшествующего агента. Более детально множества рациональных стратегий описаны ниже при построении оптимального механизма и формулировке результатов статьи.

*Постановка задачи определения оптимального механизма стимулирования.*

Определить механизм  $\mu^*$ , такой что для всех значений параметра  $r \in [r^H, r^B]$  справедливо

$$K(\mu^*, r) \geq \sup_{\mu \in M} K(\mu, r) - \varepsilon,$$

где  $M$  – заданное компактное множество допустимых механизмов,  $\varepsilon > 0$ .

Пусть множество  $M$  определено следующими ограничениями на функции поощрения, функции штрафов и процедуру планирования:

– функции поощрения  $\sigma_i(y_i)$  являются кусочно-непрерывными и  $0 \leq \sigma_i(y_i) \leq g_i$ ;

– функции штрафов  $\vartheta_i(x_i, y_i)$  также кусочно-непрерывны и удовлетворяют ограничению «максимального роста»,  $\vartheta_i(x_i, y_i) - \vartheta_i(x_i, y_i') \leq \theta_i(y_i', y_i)$ , где  $\theta_i(y_i', y_i)$  – заданный показатель максимального роста штрафов [6], удовлетворяющий неравенству «треугольника»:  $\theta_i(y_i', y_i) + \theta_i(y_i, x_i) \geq \theta_i(y_i', x_i)$ ;

– процедуры планирования  $x_i(\rho_i)$  – непрерывные функции,  $i = 1, \dots, n$ .

В [5, 6] доказано, что при этих условиях приведенная выше задача определения оптимального механизма  $\mu^*$  может быть сведена к задаче оптимизации

$$(1) \quad K(\mu^*, r) = \max_{\mu \in M_c} \Phi(x(r), x(r), r) =$$

$$= \max_{\mu \in M_c} \{c_1 y_1 - v_1(y_1, r_1) + \sum_{i=2}^n [c_i (x_i - x_{i-1}) - v_i(x_i, r_i)]\},$$

где  $M_c$  – компактное множество допустимых механизмов, определяемое дополнительными условиями согласования, которым должна удовлетворять процедура планирования  $x(\rho)$  и система стимулирования  $\sigma(\cdot)$ ,  $\mathcal{A}(\cdot, \cdot)$  для побуждения агентов выполнять планы и сообщать в УО достоверную информацию о своих параметрах как доминантные стратегии. Компактность множеств  $M_c$  для рассматриваемой модели системы доказана в [5, 6].

Таким образом, задача определения механизма сводится к определению множества  $M_c$  и решению задачи (1). Условия согласования, определяющие множество  $M_c$ , при котором достигается максимальное значение показателя  $K(\mu^*, r)$ , будут представлены ниже в процессе формулировки результатов решения задачи (1). В [6] показано, что выполнение условий согласования свойственно оптимальному механизму и стимулирует агента на *выполнение* плана и сообщение в УО *достоверной* информации.

*Условия согласования, обеспечивающие выполнение плана и сообщение достоверной информации.*

Рассмотрим сначала ограничения, задаваемые на множество механизмов, при которых агенты выполняют планы.

Выполнение планов может быть обеспечено за счет штрафов за отклонение состояния агента от плана. В [6] показано, что для рассматриваемого здесь множества допустимых функций штрафа оптимальными являются штрафы, совпадающие с показателем их максимального роста  $\theta_i(x_i, y_i)$ .

Множество  $P_i(y_{i-1}, r_i)$  планов, выполнение которых максимизирует целевые функции агентов, определяется выражением  $P_i(y_{i-1}, r_i) = \{x_i \mid f_i(x_i, x_i, y_{i-1}, r_i) \geq f_i(x_i, y_i, y_{i-1}, r_i), x_i, y_i \in [0, r_i^B]\}$ .

В [6] показано, что для рассматриваемых функций штрафа  $\theta_i(x_i, y_i)$ , удовлетворяющих «неравенству треугольника», множество  $P_i(y_{i-1}, r_i)$  совпадает с множеством  $Y_i(y_{i-1}, r_i) = \text{Arg} \max_{y_i \in [0, r_i]} f_i(x_i, y_i, y_{i-1}, r_i)$  рациональных стратегий  $i$ -го

агента:  $Y_i(y_{i-1}, r_i) = P_i(y_{i-1}, r_i)$ . Условие  $x_i \in P_i(y_{i-1}, r_i)$  называется условием максимального согласования (МС).

Определим для каждого агента множества  $P_i(y_{i-1}, r_i^H)$  планов, которые при функции штрафов  $\theta_i(x_i, y_i)$ , будут выполнимы при минимальном значении неопределенного параметра  $r_i^H$ . Будем считать, что для  $r_i^H$  выполнение устанавливаемого плана обеспечивается штрафами  $\theta_i(x_i, y_i)$ , при этом функция поощрения равна 0. Максимальное значение плана  $x_i^c = x_i^c(y_{i-1}, r_i^H)$  в множестве  $P_i(y_{i-1}, r_i^H)$  определяется условием выполнения неравенства

$$(2) \quad \theta_i(x_i^c - y_{i-1}, y_i - y_{i-1}) \geq \omega_i(y_i - y_{i-1}, r_i^H) - \omega_i(x_i^c - y_{i-1}, r_i^H)$$

для всех  $y_i$  из отрезка  $0 \leq y_i \leq r_i^H$ .

Сообщение агентами достоверной информации обуславливается выполнением условий совершенного согласования, т.е. агенту назначаются планы, при которых целевые функции агента достигают максимума на множестве допустимых планов. Показано, что оптимальную процедуру планирования достаточно искать среди процедур, удовлетворяющих условиям совершенного согласования. При определении оптимальных процедур планирования будем руководствоваться этим выводом. В соответствии с этим воспользуемся методикой определения оптимальных механизмов, представленной в [5, 6].

Условия (2) и условия совершенного согласования определяют множество согласованных планов  $M_c$ .

*Оптимальный механизм.*

Заметим, что функция

$$\begin{aligned} \Phi(x, x, r) &= c_1 x_1 - v_1(x_1, r_1) + \sum_{i=1}^n [c_i(x_i - x_{i-1}) - v_i(x_i, r_i)] = \\ &= (c_1 + a_1)x_1 - a_1 r_1 + \sum_{i=2}^n [(c_i + a_i)(x_i - x_{i-1}) - a_i r_i] \end{aligned}$$

возрастает по  $(x_i - x_{i-1})$ . Поэтому при заданных фондах поощрения  $g = (g_1, \dots, g_n)$  достаточно обеспечить получение максимального значения каждого из слагаемых целевой функции УО.

Введем в рассмотрение числа  $\gamma_i > 0$  и соответствующие им неравенства  $(c_i + a_i)(x_i - x_{i-1}) - a_i r_i \geq \gamma_i$ . Из этого неравенства



определим множество планов, при которых величина слагаемых в целевой функции УО не меньше соответствующего значения  $\gamma_i$ . Это множество определяется неравенством  $x_i \geq q_i(x_{i-1}, \gamma_i, r_i) = x_{i-1} + (\gamma_i + a_i r_i)/(c_i + a_i)$ .

Рассмотрим процедуру планирования, имеющую вид

$$(3) \quad \tilde{\pi}_i(\gamma_i, \rho_i, x_{i-1}) = \begin{cases} x_i^c = x_i^c(x_{i-1}, r_i^H), & \text{если } r_i^H \leq \rho_i \leq \beta_i, \\ q_i(x_{i-1}, \gamma_i, \rho_i), & \text{если } \beta_i < \rho_i \leq r_i^B, \end{cases}$$

где значение  $\beta_i$  определяется из решения уравнения  $x_i^c(x_{i-1}, r_i^H) = q_i(x_{i-1}, \gamma_i, \beta_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

Для процедуры планирования вида (3) определим функции поощрения  $\sigma_i(x_{i-1}, y_i)$ , для которых выполняются условия совершенного согласования при  $y_i = x_i = \pi_i(\gamma_i, \rho_i, x_{i-1})$ .

Как следует из [6], такая функция поощрения вычисляется по формуле

$$\sigma_i(x_{i-1}, y_i) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq y_i \leq x_i^c, \\ \int_{x_i^c - x_{i-1}}^{y_i - x_{i-1}} \omega'_i(t, \tilde{r}_i(\gamma_i, t)) dt & \text{при } x_i^c < y_i \leq q_i(x_{i-1}, \gamma_i, r_i^B), \\ \bar{g}_i & \text{при } q_i(x_{i-1}, \gamma_i, r_i^B) < y_i \leq r_i^B. \end{cases}$$

В этом выражении  $\tilde{r}_i(\gamma_i, t)$  обозначает обратную функцию к функции  $\tilde{\pi}_i(\gamma_i, \rho_i, x_{i-1})$  по отношению к аргументу  $\rho_i$ ,  $\omega'_i(t, \tilde{r}_i(\gamma_i, t))$  обозначает частную производную по первой переменной функции затрат агента  $\omega_i(t, r_i)$ , значение  $\bar{g}_i$  определяется по формуле

$$\bar{g}_i = \int_{x_i^c - x_{i-1}}^{q_i(x_{i-1}, \gamma_i, r_i^B) - x_{i-1}} \omega'_i(t, \tilde{r}_i(\gamma_i, t)) dt.$$

Максимальное значение целевой функции УО обеспечивается при максимальных значениях параметров  $\gamma_i$ , которые достигаются при полном использовании фондов поощрения  $g = (g_1, \dots, g_n)$ .

Предположим, что функции штрафов «линейны», а именно,  $\theta_i(x_i, y_i) = k_i |y_i - x_i|$ .

Вычислим  $x_i^c = x_i^c(y_{i-1}, r_i^H)$  из условия (2). Для рассматриваемых функций штрафов условие (2) эквивалентно условию  $\left. \frac{d\omega_i(x, r_i^H)}{dx} \right|_{x=x_i^c} = e_i(x_i^c - x_{i-1}) / r_i = k_i$ . Отсюда получаем

$$x_i^c = x_{i-1} + r_i k_i / e_i.$$

Параметр  $\beta_i$  в выражении (3) определяется из условия  $x_i^c(x_{i-1}, r_i^H) = x_{i-1} + (\gamma_i + \alpha_i \beta_i) / (c_i + a_i)$ . Отсюда получаем  $\beta_i = [(x_i^c(x_{i-1}, r_i^H) - x_{i-1})(c_i + a_i) - \gamma_i] / a_i = r_i k_i (c_i + a_i) / (e_i a_i) - \gamma_i / a_i$ .

Тогда выражение (3) для процедуры планирования приобретает вид

$$(4) \quad \tilde{\pi}_i(\gamma_i, \rho_i, x_{i-1}) = \begin{cases} x_{i-1} + r_i^H k_i / e_i, & \text{если } r_i^H \leq \rho_i \leq \beta_i, \\ x_{i-1} + (\gamma_i + a_i r_i^B) / (c_i + a_i), & \text{если } \beta_i \leq \rho_i \leq r_i^B. \end{cases}$$

Определим функцию  $\tilde{r}_i(\gamma_i, t)$ , обратную к  $\tilde{\pi}_i(\gamma_i, \rho_i, x_{i-1})$  на интервале  $(x_i^c(x_{i-1}, r_i^H) - x_{i-1}, (\gamma_i + a_i r_i^B) / (c_i + a_i))$ . Имеем  $\tilde{r}_i(\gamma_i, t) = (t - x_{i-1})(c_i + a_i) / a_i - \gamma_i / a_i$ . Отсюда получаем выражение для функции поощрения, при использовании которой процедура планирования (4) удовлетворяет условиям совершенного согласования [6]

$$\sigma_i(x_{i-1}, y_i) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq y_i \leq x_{i-1} + r_i^H k_i / e_i, \\ (y_i - x_{i-1} - r_i^H k_i / e_i) a_i e_i / (c_i + a_i) & \\ \text{при } x_{i-1} + r_i^H k_i / e_i < y_i \leq (\gamma_i + a_i r_i^B) / (c_i + a_i), & \\ g_i & \text{при } (\gamma_i + a_i r_i^B) / (c_i + a_i) < y_i \leq r_i^B. \end{cases}$$

Определим оптимальное значение параметра  $\gamma_i^*$  из условия использования фонда поощрения:

$$g_i = [(\gamma_i^* + a_i r_i^B) / (c_i + a_i) - r_i^H k_i / e_i] a_i e_i / (c_i + a_i).$$

Отсюда получаем  $\gamma_i^* = [g_i(c_i + a_i) / a_i e_i + r_i^H k_i / e_i] - a_i r_i^B$  и, соответственно, оптимальное значение целевой функции УО

$$\Phi(x^*, x^*, r) = \sum_{i=1}^n \gamma_i^*.$$

Обратим внимание на то, что в построенном оптимальном механизме агентам назначаются «выгодные» для них планы на основе сообщаемой ими информации. Поэтому УО может полу-

чать от агентов вместо оценок  $\rho_i = r_i$  непосредственно значения планов  $x_i$  в предположении, что агенты могут сами такие планы вычислить. В этом случае рассмотренный механизм обретает черты механизма с встречным планированием [8].

*Оптимальный механизм с встречным планированием.*

Поскольку для рассматриваемого механизма выполнены условия максимального и совершенного согласования, выбираемые агентами уровни энергоэффективности совпадают с установленными им планами,  $y_i = x_i$ , и агенты заинтересованы сообщать достоверную информацию,  $\rho_i = r_i$ . При этом  $r_i = (x_i - x_{i-1})(c_i + a_i) / a_i - \gamma_i / a_i$ . Подставив это выражение в формулу для функции поощрения и учитывая  $y_i = x_i$ , имеем для функции стимулирования на отрезке, задаваемом неравенствами  $x_{i-1} + r_i^* k_i / e_i < y_i \leq (\gamma_i + a_i r_i^*) / (c_i + a_i)$ , выражение  $A_i(x_i - x_{i-1}) - k_i |y_i - x_i|$ , где  $A_i = [a_i e_i - k_i(c_i + a_i + \gamma_i^*)] / (c_i + a_i)$ .

Функция стимулирования, имеющая вид  $A_i(x_i - x_{i-1}) - k_i |y_i - x_i|$ , в совокупности с процедурой планирования, при которой агенты вместо параметров  $\rho_i$  сообщают планы, соответствует механизму с встречным планированием [8]. Действительно, при встречном планировании агенты сообщают в УО вместо параметров  $\rho_i$  выгодные им планы, а УО стимулирует агентов с целью обеспечить им выгодность «наиболее напряженных» планов при заданных ограничениях на фонды поощрения.

Таким образом, мы проиллюстрировали оптимальность механизма с встречным планированием.

## 2.2. ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ

Применение описанных выше механизмов отбора проектов, их ресурсного обеспечения и стимулирования энергоэффективности приводит к необходимости внесения дополнений в структуру управления инновационной деятельностью в организации.

Выделим два режима управления, в составе которых используются указанные механизмы. Назовем их режимами стратегического и оперативного управления. Соответственно им в

организационной структуре формируются блоки стратегического и оперативного управления.

В состав режима стратегического управления включаются решения следующих задач:

– классификация и отбор наиболее перспективных проектов (пример методов решения этих задач приведен выше в разделе 2) первой части статьи;

– выделение финансовых ресурсов на реализацию проектов и формирование заданий для блока оперативного управления по разработке финансовых моделей и бизнес-планов по их реализации (для решения этой задачи может быть применена модификация метода «затраты–эффект», описанного в разделе 3 статьи [3]);

– разработка и утверждение механизмов стимулирования реализацией комплекса проектов (пример механизма стимулирования для цепочки работ по проекту описан в разделе 2.1 настоящей статьи).

В состав режима оперативного управления включается решение следующих задач:

– мониторинг выполнения проектов и выработка корректирующих воздействий;

– предоставление в блок стратегического управления информации по изменениям и появлению инноваций по теме выполняемых проектов;

– разработка финансовых моделей и бизнес-планов по реализации отобранных проектов;

– разработка календарных планов;

– реализация механизмов стимулирования.

Использование описанных выше механизмов вызывает необходимость изменений в существующей структуре управления организациями.

Укажем два аспекта, которые можно учесть в структуре управления.

Первый аспект заключается в том, что в структуру, относящейся к стратегическому управлению, рекомендуется включить подразделения (либо ответственные лица), курирующие различные уровни описанной выше комплексной оценки (рис. 2).

В левой части рисунка изображена структура комплексной оценки, рассмотренная в разделе 2 статьи [3], в правой части рисунка представлены элементы иерархической структуры управления, ответственные за осуществление комплексной и промежуточных оценок проектов и их мониторинг. Так, например, элемент с номером 1 призван отвечать за расчет итоговых оценок проектов и контроль за их изменением во времени, элемент 2, подчинен элементу 1 и предназначен для выполнения промежуточной оценки проектов и их мониторинг согласно промежуточному оцениванию Е. Аналогично распределяется ответственность элементов иерархической структуры с номерами 3 и 4 в соответствии с промежуточными оценками Г и Д.

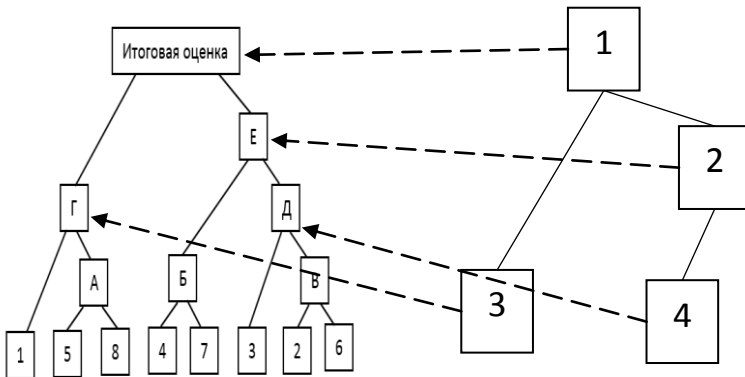


Рис. 2. Пример включения элементов оценки эффективности в структуру управления проектами

Второй аспект корректировки структуры управления определяется описанным в разделе 3 первой части статьи [3] механизмом распределения ресурсов по группам проектов.

Большие организации типа холдинга РЖД, как правило, имеют сложные территориальное и функционально распределенные структуры. Поэтому при формировании программы инновационного развития важно учитывать интересы всех основных структурных подразделений. В противном случае однобокость инновационной стратегии приведет в перспективе

к снижению эффективности всей системы. Рассмотрим задачу согласованного формирования инновационной программы, в которой каждому основному структурному подразделению гарантируется определенное участие в программе. Выделим два типа гарантий (условий согласования).

1. Согласование по ресурсу: каждому структурному подразделению гарантируется не менее определенной величины средств на инновационное развитие.

2. Согласование по эффекту: каждому структурному подразделению гарантируется включение в программу проектов с суммарным эффектом не менее определенной величины.

Заметим, что согласование по эффекту имеет значительно большую степень манипулирования (сознательного искажения информации), чем согласование по ресурсу. Действительно, подразделение, уверенное во включении в программу проектов с эффектом не менее гарантированного, будет заинтересовано в завышении затрат на проекты.

Условие согласования по ресурсу, наоборот, стимулирует включение в программу наиболее эффективных проектов. Поэтому далее будем рассматривать условие согласования по ресурсу.

Метод распределения финансовых средств, в принципе, аналогичен описанному в разделе 3 статьи [3]. Он состоит из двух этапов.

I этап. Для каждого подразделения, участвующего в программе, отбирается по алгоритму из раздела 3 минимальное множество проектов при финансировании не менее гарантированного.

II этап. Применяется алгоритм, описанный в разделе 3 первой части статьи, ко всему множеству проектов.

В соответствии с распределением финансирования между комплексными проектами рассматриваемой сетевой мультипроектной системы определяется состав проектных офисов (ПО) иерархической структуры управления (рис. 3).

На рис. 3 аббревиатура ЦО обозначает центральный проектный офис, номерами 1, 2, 3, ...,  $n$  помечены проекты в мультипроектной системе. В качестве иллюстрации проекты под

номера 1, 2, 5, 6 объединены в группу проектов, получивших первый приоритет при распределении финансовых ресурсов по процедуре «затраты–эффект», рассмотренной в разделе 3 первой части статьи; под номерами 3, 4, 7 обозначена группа проектов, получивших второй приоритет и, наконец, последняя группа проектов, получившая финансирование, включает 4 проекта, включая проект с номером  $n$ .

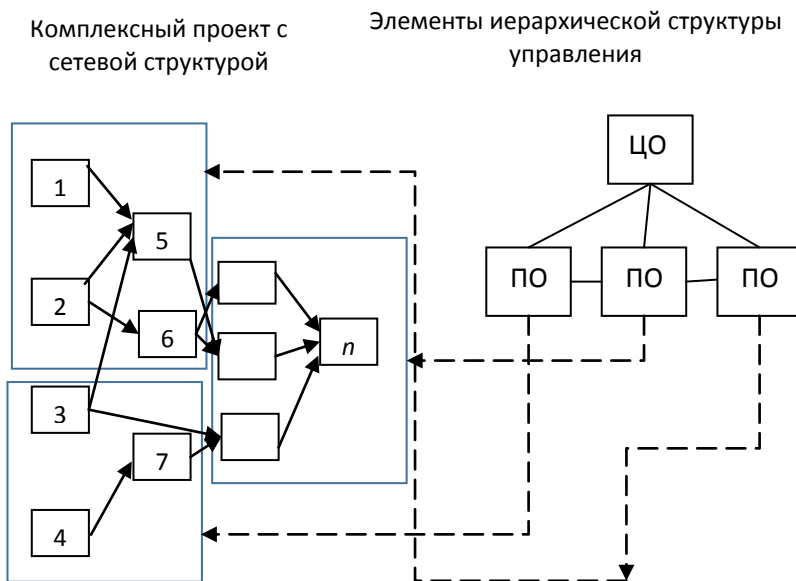


Рис. 3. Пример формирования проектных офисов в структуру управления

Представленные предложения по внесению дополнений в структуру управления направлены на повышение результативности исследования, разработок и внедрения наиболее перспективных проектов. Они могут служить дополнительными инструментами по реализации стандартов [15–18] и системы управления научно-технической деятельностью [11–14], принятых в организации.

### 3. Заключение

На основе предложенных системы комплексного оценивания и механизма распределения инвестиций может формироваться матрица ответственности в системе управления реализацией комплексных проектов в организации. Модели оценки и определения приоритетных проектов, а также механизма распределения финансовых ресурсов на основе выделения наиболее эффективных проектов способствуют концентрации ресурсов на наиболее приоритетных направлениях научно-технического развития.

Представленная модель системы отбора проектов и их группировки в мультипроектные комплексы может служить основой дальнейшего формирования процессных моделей управления жизненным циклом научно-технических и инновационных разработок.

Исследованные модели дают основу для формирования проектных офисов для управления реализацией комплексных проектов, а модели механизмов стимулирования могут составить основу положений о стимулировании научной, опытно-конструкторской и внедренческой деятельности коллективов исследователей и разработчиков.

В совокупности представленные модели механизмов реализуют пример комплексного механизма управления разработками сложных проектов.

### Литература

1. БЕЛОВ М.В., НОВИКОВ Д.А. *Сетевые активные системы: модели планирования и стимулирования* // Проблемы управления. – 2018. – №1. – С. 47–57.
2. БУРКОВ В.Н., ЕНАЛИЕВ А.К. *Оптимальность принципа открытого управления. Необходимые и достаточные условия достоверности информации в активных системах* // Автоматика и телемеханика. – 1985. – №3. – С. 73–80.



3. БУРКОВ В.Н., ЕНАЛЕЕВ А.К., СТРОГОНОВ В.И., ФЕДЯНИН Д.Н. *Модели и структура управления разработкой и внедрением инновационных средств и технологий. I. Механизмы отбора приоритетных проектов и распределения ресурсов.* // Управление большими системами. – 2018. – №74. – С. 81–107.
4. БУРКОВ В.Н., НОВИКОВ Д.А. *Как управлять организацией.* – М.: Синтег, 2004. – 400 с.
5. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Оптимальный механизм функционирования в активной системе с обменом информацией* // Управление большими системами. – 2010. – №29. – С. 108–127.
6. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Оптимальность согласованных механизмов функционирования в активных системах* // Управление большими системами. – 2011. – №33. – С. 143–166.  
Англ.: ENALEEV A.K. *Optimal incentive-compatible mechanisms in active systems* // Automation and Remote Control. – 2013. – Vol. 74(3). – P. 491–505.
7. ЕНАЛЕЕВ А.К. *Оптимальный согласованный механизм в системе с несколькими активными элементами* // Проблемы управления. – 2015. – №3. – С. 20–28.  
Англ.: ENALEEV A.K. *Optimal incentive compatible mechanism in a system with several active elements* // Automation and Remote Control. – 2017. – Vol. 78(1). – P. 146–158.
8. *Механизмы управления* / Под ред. Д.А. Новикова. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 192 с.
9. НОВИКОВ Д.А. *Сетевые структуры и организационные системы.* – М.: ИПУ РАН, 2003. – 101 с.
10. НОВИКОВ Д.А., ЦВЕТКОВ А.В. *Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах.* – М.: Апостроф, 2000 – 184 с.
11. *Положение ОАО «РЖД» от 25.05.2009 №53 (ред. От 24.10.2017) «Положение о Департаменте технической политики открытого акционерного общества «Российские железные дороги».* – URL: <https://jd-doc.ru/2009/maj-2009/7782-polozhenie-oao-rzhd-ot-25-05-2009-n-53>.

12. Распоряжение ОАО «РЖД» от 30.10.2015 № 2596р « Об утверждении Положения о порядке разработки и выполнения программы инновационного развития холдинга «РЖД». – URL: [www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=651275](http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=651275).
13. Распоряжение ОАО «РЖД» от 29.08.2016 № 1761р « Об утверждении Положения о Центре инновационного развития – филиале открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (вместе с Положением).
14. Распоряжение ОАО «РЖД» от 12.09.2014 № 2168р (ред. от 09.08.2016) «О распределении функций в системе управления технико-технологическим развитием, инновационной деятельностью и обеспечением безопасности производственных процессов в холдинге «РЖД».
15. СТО РЖД 08.007-2011. Стандарт ОАО «РЖД». Инновационная деятельность а ОАО «РЖД». Управление реализацией научно-технических работ (утвержден и введен в действие распоряжением ОАО «РЖД» от 26.06.2012 №1267р). – URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&id=6027](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6027).
16. СТО РЖД 08.015-2011. Стандарт ОАО «РЖД». Инновационная деятельность в ОАО «РЖД». Порядок рассмотрения инновационных проектов (утвержден и введен в действие распоряжением ОАО «РЖД» от 26.06.2012 №1267р). – URL: <http://lawru.info/dok/2012/06/26/n170829.htm>.
17. СТО РЖД 08.005-2011. Стандарт ОАО «РЖД». Инновационная деятельность в ОАО «РЖД». Порядок оценки эффективности инновационных проектов (утвержден и введен в действие распоряжением ОАО «РЖД» от 26.06.2012 №1267р). – URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&id=6024](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6024).
18. СТК 1.04.001 Стандарт по качеству ОАО «РЖД». Управление проектами ОАО «РЖД». Основные Положения. – URL: <https://jd-doc.ru/2009/sentyabr-2009/7447-standart-po-kachestvu-oao-rzhd-n-stk-1-04-004-ot-14-09-2009-g-n-1902r>.

19. BAYIZ M., CORBETT C.J. *Coordination and Incentive Contracts in Project Management under Asymmetric Information* // December 15, 2005. – 32 p. – URL: <https://ssrn.com/abstract=914227>. – DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.914227>.
20. CLEDEN D. *Managing project uncertainty* // Routledge. – 2017. – 146 p.

## MODELS AND MANAGEMENT STRUCTURE OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION. II. MODEL OF THE ENERGY EFFICIENCY STIMULATION MECHANISM AND THE ELEMENTS OF THE PROJECT MANAGEMENT STRUCTURE

**Vladimir Burkov**, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Doctor of Science, chief researcher (vlab17@bk.ru).

**Anver Enaleev**, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, PhD, senior researcher (anverena@mail.ru).

**Vladimir Stroganov**, NIIS, Moscow, Doctor of Science (v.stroganov@vniias.ru)

*Abstract: The article consists of two parts. We continue a study of the mechanisms for managing the implementation of complex projects that ensure energy efficiency at the second part of the article. We consider a model for stimulating energy efficiency in the sequence of projects in a multi-project structure and propose the optimal mechanism for this model. This mechanism includes a planning procedure, fines for non-compliance with plans, and a reward function for project results. The article consider the functioning of the system as a game of the Center and successively connected agents implementing projects. The strategy of the Center is to choose a mechanism. Agent strategies are messages to the Center for data about their parameters and selection of the project results. Information about the parameters of the agents is necessary to calculate the plans based on the planning procedure. At the same time, agents may report corrupted data. We show that the proposed optimal mechanism encourages agents to provide reliable information and select results that coincide with the plans. Taking into account the results of the study of the mechanisms of project evaluation and budget allocation, discussed in the first part of the article, we propose approaches to forming the structure of the management system for the implementation of complex projects.*

Keywords: energy efficiency, funds allocation, incentives, control, management structure, organization.

УДК 06.35.51; 73.01.77; 73.01.21

ББК 65

DOI: 10.25728/ubs.2018.76.7

*Статья представлена к публикации  
членом редакционной коллегии С.А. Баркаловым.*

*Поступила в редакцию 18.04.2018.*

*Опубликована 30.11.2018.*