УДК 658.512.032

М.Л. Угрюмов, И.А. Гончар, Ю.Ю. Жебель, А.А. Лысенко

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВОМ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСА РАБОТ НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ СТЕПЕНИ СЛОЖНОСТИ

Статья посвящена вопросам моделирования организационного управления командой проекта, которая рассматривается как распределенная система отдельных групп исполнителей различной квалификации поэтапно финансируемых единым центром. Исследование операции проводится в одном случае с позиции интересов финансирующего центра, в другом – с позиции интересов всех операционных сторон, в третьем – с позиции интересов только исполнителей работ. Полученные модели централизованного, согласованного и открытого управления позволяют сформировать эффективный состав команды проекта в условиях неполной информированности о степени сложности планируемых работ.

Ключевые слова: *персонал проекта, распределенная система, факторная модель, организационное управление, централизованное, согласованное и открытое формирование состава исполнителей, математическое программирование, иерархическая и бескоалиционные игры.*

Введение

Как объект исследования, любой проект, представляющий собой совокупность комплексов работ различной степени сложности, предполагает наличие в составе своей команды исполнителей различного уровня квалификации. При этом вопрос формирования рационального состава исполнителей различной квалификации является одним из основных факторов, определяющих эффективность реализации проекта, которая характеризуется отношением общего объема выполняемых работ к суммарным затратам финансовых средств.

Наиболее известными из существующих подходов к формированию состава команды проекта являются методы, основанные на использовании информационной базы опыта прошлых разработок и теории прецедентов [1, 2]. Однако высокая степень уникальности проектов, а также большая нестабильность условий их реализации существенно снижают эффективность прецедентного подхода к формированию качественного состава команды проекта вследствие воздействия на запланированные процессы труднопрогнозируемых и трудноучитываемых факторов. В этих условиях предлагается использовать как инструмент формирования эффективного состава команды проекта организационные принципы централизованного, согласованного и открытого управления персоналом.

Целью данной статьи является разработка математических моделей содержательной переработки информации, позволяющих получить количественное обоснование предложений при принятии решений в процессе организационного управления составом исполнителей проекта в условиях неопределенной степени сложности планируемых работ.

Основная часть

Команда проекта рассматривается как распределенная система однородных групп исполнителей комплексов работ различной степени сложности, финансируемых единым центром и отличающихся уровнем квалификации. Функционирование отдельной группы исполнителей i-й квалификации формализуется факторной моделью с убывающей отдачей

$$Q_i = a_i (R_i + x_i)^{\alpha_i} y_i^{\beta_i}, \tag{1}$$

где $\alpha_i + \beta_i < 1$; $0 < \alpha_i, \beta_i < 1$; $\forall i \in \{\overline{1,n}\}$; Q_i – объем работ, выполняемый i-й группой исполнителей проекта; R_i – техническое обеспечение i-й группы исполнителей проекта; x_i – капиталовложения в техническое обеспечение i-й группы исполнителей проекта; y_i – оборотные средства i-й группы исполнителей проекта; a_i, α_i, β_i – параметры модели i-й группы исполнителей проекта.

Планируемый объем работ i-й степени сложности Q_i определяет собой необходимое количество N_i исполнителей i-й квалификации

$$N_i = Q_i \Big/ \left(\Phi_{Д_i} K_{вн_i} \right), \tag{2}$$

где $\Phi_{Д_i}$, $K_{вн_i}$ – действительный фонд времени и коэффициент выполнения норм отдельного исполнителя i-й квалификации соответственно.

Реализация проекта рассматривается как многошаговый процесс выполнения запланированных работ различной степени сложности путем поэтапного финансирования. На каждом шаге финансирования проекта эффективность команды исполнителей оценивается отношением общего объема выполненных работ к суммарным затратам финансовых средств

$$E(\overline{x},\overline{y}) = \sum_{i=1}^{n} a_i (R_i, x_i)^{\alpha_i} y_i^{\beta_i} \Big/ \sum_{i=1}^{n} (x_i + y_i), \qquad (3)$$

где $\overline{x} = x_1,...,x_n$; $\overline{y} = y_1,...,y_n$.

Ставится задача формализовать интегральную оценку эффективности различных составов исполнителей проекта соответствующим организационным принципам централизованного, согласованного и открытого управления персоналом.

Централизованное управление [3] персоналом соответствует случаю, когда функцией принятия решений наделен только центр финансирования, который распределяет капиталовложения и оборотные средства, необходимые для выполнения группами исполнителей различной квалификации общего объема планируемых работ

$$Q_0 = \sum_{i=1}^{n} Q_i$$

различной степени сложности, исходя из максимизации эффективности деятельности (3) всей команды проекта. Сформулированная задача оптимального управления с учетом выражения (3) моделируется задачей нелинейного программирования

$$\min_{\overline{z},\overline{y}} F(\overline{z},\overline{y}) \qquad (4)$$

при ограничениях $\Phi(\overline{z},\overline{y}) = Q_0$, $\overline{z} \ge \overline{V}$, $\overline{y} \ge 0$;

где $\overline{z} = z_1,\ldots,z_n$; $\overline{y} = y_1,\ldots,y_n$; $\overline{V} = V_1,\ldots,V_n$;

$$F(\overline{z},\overline{y}) = \sum_{i=1}^{n} (y_i + b_i z_i^{\frac{1}{\alpha_i}} - R_i); \qquad (5)$$

$$\Phi(\overline{z},\overline{y}) = \sum_{i=1}^{n} z_i y_i^{\beta_i}; \qquad (6)$$

$$z_i = a_i (R_i + x_i)^{\alpha_i}; \qquad (7)$$

$$b_i = a_i^{-1/\alpha_i}; \quad V_i = b_i^{-\alpha_i} R^{\alpha_i}; \quad i = \overline{1,n}.$$

Решение задачи (4) $\overline{z} = \overline{z}^{(1)}$, $\overline{y} = \overline{y}^{(1)}$ определяется из следующей системы условий

$$\begin{cases} \dfrac{\partial F}{\partial y_i}(\overline{z},\overline{y}) = \lambda \dfrac{\partial \Phi}{\partial y_i}(\overline{z},\overline{y}), \ i = \overline{1,n}; \\ \dfrac{\partial F}{\partial z_k}(\overline{z},\overline{y}) = \lambda \dfrac{\partial \Phi}{\partial z_k}(\overline{z},\overline{y}), \ \forall K \in I_k; \\ z_t = V_t, \forall t \in I_t; \\ \Phi(\overline{z},\overline{y}) = Q_0 \\ \lambda \ne 0, I_k \cup I_t = \{\overline{1,n}\}; I_k \cap I_t = \varnothing; I_k, I_t = \varnothing,...,\{\overline{1,n}\}; \end{cases} \qquad (8)$$

где λ – множитель Лагранжа, а полученному решению $\overline{z}^{(1)} = z_1^{(1)},...,z_n^{(1)}$, $\overline{y}^{(1)} = y_1^{(1)},...,y_n^{(1)}$ согласно зависимостям (1) и (7) соответствуют объемы комплексов работ $Q_1^{(1)},...,Q_n^{(1)}$ различной степени сложности, которые, в свою очередь, с учетом соотношения (2) определяют в плановом периоде составов $N_1^{(1)},...,N_n^{(1)}$ исполнителей требуемой квалификации при централизованном управлении персоналом проекта.

Согласованное управление [3] персоналом соответствует случаю, когда функцией принятия решений наделены как все группы исполнителей различной квалификации, так и финансирующий их деятельность центр. При этом каждая группа исполнителей $i \in \{\overline{1,n}\}$, выполняющая работы i-й степени сложности самостоятельно планирует величину необходимых капиталовложений x_i в техническое обеспечение своей деятельности, стремясь максимизировать объемы выполняемых работ Q_i, а финансирующий центр распределяет оборотные средства $y_1,\ldots,y_n$, исходя из максимизации эффективности функционирования (3) команды проекта. Ситуация моделируется иерархической игрой с фиксированной последовательностью ходов, на первом этапе рассмотрения которой находится закон управления центра финансирования в виде скалярных функций

$$y_i = y_i(\overline{z}), i = \overline{1,n}; \qquad (9)$$

векторного аргумента $\overline{z} = z_1,\ldots,z_n$ путем решения задачи параметрической оптимизации

$$\max_{\overline{y} \in Y^n} E(\overline{z},\overline{y}) \Rightarrow \overline{y} = \overline{y}(\overline{z}); \qquad (10)$$

в которой целевая функция имеет вид

$$E(\overline{z},\overline{y}) = F(\overline{z},\overline{y}) \big/ \Phi(\overline{z},\overline{y}); \qquad (11)$$

а допустимое множество Y^n определяется как

$$Y^n = \{\overline{y} \in E^n \mid F(\overline{z},\overline{y}) \ge Q_0, \Phi(\overline{z},\overline{y}) \le W_0\}; \qquad (12)$$

где константы $Q_0 > 0$, $W_0 > 0$ заданы так, что допустимое множество (12) не пусто, содержит, по крайней мере, две различные точки, ограничено и замкнуто. В этом случае допустимое множество (12) представляет собой выпуклый компакт, а непрерывная на множестве $H^n = \{\overline{y} \in E^n \mid y_i > 0, i = \overline{1,n}\}$; целевая функция (11) с учетом (6) и (7) при $\overline{z} = \text{const}$ обладает свойством строгой псевдовогнутости. Искомое решение (9) задачи параметрической оптимизации (10) находится в виде сложных функций

$$y_i(\overline{z}, y) = \left(\frac{\beta_i z_i}{\beta_j z_j}\right)^{\frac{1}{1-\beta_i}} \cdot y^{\frac{1-\beta_j}{1-\beta_i}}; \ i = \overline{1,n}; \ j \in \{\overline{1,n}\}; \qquad (13)$$

в которых параметр $y > 0$ задается в неявном виде управлением $g_k(\overline{z}, y) = 0$, а индекс K равен

$$K = \begin{cases} Q, y_M \le y_Q \le y_W; \\ M, y_Q \le y_M \le y_W; \\ W, y_Q \le y_W \le y_M; \end{cases} \qquad (14)$$

где $g_k(\overline{z}, y_k) \equiv 0$, при $\overline{z} = \text{const}$; $g_M(\overline{z}, y) = 0$, следует из условия $\nabla E(\bar{y}) = 0$; $g_Q(\bar{z}, y) = 0$, следует с учетом (13) из условия $F(\bar{z}, \bar{y}) = Q_0$; $g_W(\bar{z}, y) = 0$, следует с учетом (13) из условия $\Phi(\bar{z}, \bar{y}) = W_0$.

На втором этапе решения исходной иерархической игры рассматривается ситуация, в которой каждая отдельная группа исполнителей заданной квалификации стремится максимизировать объем выполняемых работ $Q_i, i \in \{\overline{1,n}\}$ путем выбора величины капвложений x_i в собственное техническое обеспечение при оборотных средствах y_i, определяемых законом управления (13) финансирующего центра. Задача моделируется бескоалиционной игрой равноправных лиц с постоянной суммой и запрещенными ситуациями, для которой заданы следующие исходные данные.

1. Множество игроков $I = \{\overline{1,n}\}$.

2. Функция выигрыша игрока $i \in I$

$$e_i(\bar{z}) = z_i\left(\beta_i z_i / \left(\beta_j z_j\right)\right)^{\frac{\beta_i}{1-\beta_i}} \cdot y^{\frac{1-\beta_j}{1-\beta_i}\beta_i}; \qquad (15)$$

определенная на некотором множестве ситуаций $\bar{z} = z_1, \ldots, z_n$ представляет собой сложную функцию $e_i(\bar{z}) = \varphi_i(\bar{z}, y)$, в которой зависимость $y = y_k(\bar{z})$ есть однозначная и всюду положительная на множестве существования скалярная функция векторного аргумента $\bar{z} > 0$, заданная в неявном виде уравнением

$$g_k(\bar{z}, y_k) = 0;$$

где $K \in \{Q, M, W\}$ определяется из условий (14).

3. Каждый игрок $i \in I$ располагает стратегиями из множества $A_i = \{z_i \mid z_i \ge V_i\}$.

4. Функции выигрышей игроков определены на множестве $B = \{\bar{z} \in E^n \mid y_Q(\bar{z}) \le y_W(\bar{z})\}$.

5. Игра рассматривается на множестве ситуаций $Z = A \cap B$; где $Z = Z_1 \times \ldots \times Z_n$, $A = A_1 \times \ldots \times A_n$.

6. Решение игры $\bar{z}^{(2)} = z_1^{(2)}, \ldots, z_n^{(2)}$ в смысле равновесной ситуации Нэша (Nash) должно удовлетворять условиям

$$\max_{z_i \in Z_i} e_i(\bar{z}), i = \overline{1,n}; \quad \sum_{i=1}^{n} e_i(\bar{z}) = Q_0; \qquad (16)$$

которые, в свою очередь, эквивалентны требованиям

$$\begin{cases} f_k(\bar{z}, y) = 0, z_k^{(2)} \ge V_k, K \in I; \\ z_k - V_t = 0, f_t(\bar{z}^{(2)}, y^{(2)}) \le 0, t \in I_t; \\ g_Q(\bar{z}, y) = 0; \\ I_k \cup I_t = \{\overline{1,n}\}; I_k \cap I_t = \varnothing; I_k, I_t = \varnothing, \ldots, \{\overline{1,n}\}; \end{cases} \qquad (17)$$

где $f_i(\bar{z}, y) = \dfrac{\partial \varphi_i}{\partial z_i} - \dfrac{\partial \varphi_i}{\partial y} \cdot \dfrac{\partial g_Q}{\partial z_i}\left(\dfrac{\partial g_Q}{\partial y}\right)^{-1}, \forall i \in \{\overline{1,n}\}$.

Полученному, исходя из условий (17), решению $\bar{z}^{(2)}, y^{(2)}$; согласно зависимостям (1), (7) и (13) соответствуют объемы $Q_1^{(2)}, Q_n^{(2)}$ комплексов работ различной степени сложности, которые в свою очередь с учетом соотношения (2) определяют собой в плановом периоде состав $N_1^{(2)}, N_n^{(2)}$ исполнителей требуемой квалификации при согласованном формировании команды проекта.

Открытое управление [4] персоналом проекта соответствует случаю, когда функцией принятия решений наделены только операционные группы исполнителей различной квалификации, а финансирующий центр обеспечивает их требуемыми объемами капитальных вложений и оборотных средств. При этом каждая отдельная группа исполнителей проекта самостоятельно определяет величину собственных капиталовложений x_i и оборотных средств y_i, стремясь минимизировать себестоимость планируемых работ Q_i определенной степени сложности путем повышения эффективности своей деятельности. Ситуация моделируется бескоалиционной игрой n равноправных лиц, в которой каждый участник $i \in \{\overline{1,n}\}$ операции максимизирует целевую функцию

$$E_i(z_i, y_i) = \Phi_i(z_i, y_i) / F_i(z_i, y_i), \qquad (18)$$

обладающую свойством строгой псевдовогнутости на множестве допустимых стратегий

$$G_i = \{(z_i, y_i) \in E^2 \mid \sum_{i=1}^{n} \Phi_i(z_i, y_i) = Q_0; \qquad (19)$$

где $\qquad z_i = c_i; y_i > 0\}, \forall i \in \{\overline{1,n}\}$;

$$\begin{aligned} &\Phi_i(z_i, y_i) = z_i^{\alpha_i} y_i^{\beta_i}; F_i(z_i, y_i) = y_i + b_i z_i - R_i; \\ &z_i = a_i^{-1/\alpha_i} \cdot (R_i + x_i); c_i = b_i^{-1} R_i. \end{aligned} \qquad (20)$$

Решение игры

$$\bar{z}^{(3)} = z_1^{(3)}, \ldots, z_n^{(3)}; \ \bar{y}^{(3)} = y_1^{(3)}, \ldots, y_n^{(3)}$$

соответствующее равновесной ситуации Нэша, в отступлении от которой не заинтересован ни один из участников операции $i \in \{\overline{1,n}\}$, определяется из условий достижения условного экстремума целевыми функциями (18) на соответствующих допустимых множествах (19):

$$\begin{cases} \dfrac{\partial E_j}{\partial z_j}(z_j, y_j) = \lambda \dfrac{\partial \Phi}{\partial z_j}(z_j, y_j); \ \forall j \in I_j; \\ z_t = c_t \\ \dfrac{\partial E_i}{\partial y_i}(z_i, y_i) = \lambda \dfrac{\partial \Phi}{\partial y_i}(z_i, y_i), \ \forall i \in I; \\ \sum_{i=1}^{n} \Phi_i(z_i, y_i) = Q_0; \\ \lambda \ne 0, I_j \cup I_t = I; I_j \cap I_t = \varnothing; I = \{\overline{1,n}\}; I_k, I_t = \varnothing, \ldots, I, \end{cases} \qquad (21)$$

где λ – множество Лагранжа.

Полученному из условий (21) решению $\bar{z}^{(3)}, \bar{y}^{(3)}$, согласно зависимостям (1) и (20) соответствуют объемы работ $Q_1^{(3)},...,Q_n^{(3)}$ различной степени сложности, которые в свою очередь определяют в плановом периоде состав исполнителей $N_1^{(3)},...,N_n^{(3)}$ требуемой квалификации при открытом управлении персоналом проекта.

Разработанный аналитический аппарат позволяет количественно оценить по критерию интегральной эффективности выполнения работ

$$E_{\Sigma}^{(j)} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} a_i (R_{it}^{(j)} + x_{it})^{\alpha_i} y_{it}^{\beta_i} \Bigg/ \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\left(x_{it}^{(j)} + y_{it}^{(j)}\right) \quad (22)$$

различные стратегии организационного (централизованного j=1, согласованного j=2, открытого j=3) формирования состава команды проекта $N_{1t}^{(j)},...,N_{nt}^{(j)}$, финансирование которого осуществляется как поэтапный процесс $t = \overline{1,T}$ распределения капитальных вложений $x_{1t}^{(j)},...,x_{nt}^{(j)}$ и оборотных средств $y_{1t}^{(j)},...,y_{nt}^{(j)}$ между отдельными группами исполнителей различной квалификации в условиях неполной информации о степени сложности планируемых работ.

Выводы

Разработанные модели формализации организационного управления персоналом проекта позволяют:

1. Повысить эффективность формирования состава исполнителей в условиях неполной информированности о степени сложности планируемых работ.

2. При заданном сроке реализации проекта определить количественный состав исполнителей требуемой квалификации выполняющих комплексы работ различной степени сложности.

3. При ограниченных финансовых ресурсах рассчитать необходимые объемы капитальных вложений и оборотных средств при поэтапном финансировании отдельных групп исполнителей различной квалификации, соответствующих централизованному, согласованному и открытому принципам организационного управления персоналом проекта

Список литературы

1. *Прецедентный метод формирования команды исполнителей проекта / Д.Э. Лысенко, И.В. Чумаченко, Ю.С. Выходец, В.П. Пономаренко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 3 (70). – С. 168-170.*
2. *Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд / Д.А. Новиков. – М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 2008. – 184 с.*
3. *Моделирование организационного управления в многоуровневых структурах / В.Г. Кучмиев, А.И. Лысенко, В.М. Момот, И.В. Чумаченко. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2004. – 231 с.*
4. *Чумаченко И.В. Бескоалиционная игра как модель открытого финансирования инновационной деятельности / И.В. Чумаченко, А.А Лысенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – N1 (35). – С.105-107.*

Поступила в редколлегию 27.01.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.М. Конорев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ СКЛАДОМ ВИКОНАВЦІВ КОМПЛЕКСУ РОБІТ ПЕВНОЇ МІРИ СКЛАДНОСТІ

М.Л. Угрюмов, І.А. Гончар, Ю.Ю. Жебель, О.О. Лисенко

Стаття присвячена питанням моделювання організаційного управління командою проекту, яка розглядається як розподілена система окремих груп виконавців різної кваліфікації, поетапно фінансуються єдиним центром. Дослідження проводиться в одному випадку з позиції інтересів фінансуючого центру, в іншому – з позиції інтересів всіх операційних сторін, у третьому – з позиції інтересів тільки виконавців робіт. Отримані моделі централізованого, узгодженого і відкритого управління дозволяють сформувати ефективний склад команди проекту в умовах неповної інформованості про ступінь складності планованих робіт.

Ключові слова: *персонал проекту, розподілена система, факторна модель, організаційне управління, централізоване, узгоджене і відкрите формування складу виконавців, математичне програмування, ієрархічна і безкоаліційні ігри.*

MATHEMATICAL MODELS OF ORGANIZATIONAL MANAGEMENT OF PERFORMERS COMPLEX WORKS UNCERTAINTY DEGREE OF DIFFICULTY

M.L. Ugryumov, I.A. Gonchar, Yu.Yu. Zhebel, A.A. Lysenko

The article is devoted questions of modeling of organizational management project team, which is seen as a distributed system of separate groups of artists of different qualification stages financed by a single center. Operations research is carried out in one case from the standpoint of the interests of financing the center, in the other - from the standpoint of the interests of all parties operating in the third - from the standpoint of the interests of only contractors. The resulting model of centralized, coordinated and open governance can form an effective part of the project team under conditions of incomplete awareness of the complexity of the planned activities.

Keywords: *project personnel, a distributed system, factor model, organizational management, a centralized, coordinated and open formation of performers, mathematical programming, hierarchical and non-cooperative games.*