

Модель рационального стимулирования членов проектной команды на базе инструментов теории игр / М.И. Никитина, А.М. Гинцяк, Ж.В. Бурлуцкая, Д.А. Зубкова // Прикладная математика и вопросы управления. – 2023. – № 1. – С. 72–88. DOI: 10.15593/2499-9873/2023.1.05

Библиографическое описание согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018

Модель рационального стимулирования членов проектной команды на базе инструментов теории игр / М. И. Никитина, А. М. Гинцяк, Ж. В. Бурлуцкая, Д. А. Зубкова. – текст : непосредственный. – DOI: 10.15593/2499-9873/2023.1.05 // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. – 2023. – № 1. – С. 72–88.



ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА
И ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ

№ 1, 2023

<https://ered.pstu.ru/index.php/amcs>



Научная статья

DOI: 10.15593/2499-9873/2023.1.05

УДК 519.83



МОДЕЛЬ РАЦИОНАЛЬНОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ЧЛЕНОВ ПРОЕКТНОЙ КОМАНДЫ НА БАЗЕ ИНСТРУМЕНТОВ ТЕОРИИ ИГР

М.И. Никитина, А.М. Гинцяк, Ж.В. Бурлуцкая, Д.А. Зубкова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 08 сентября 2022

Одобрена: 08 февраля 2023

Принята к публикации:

10 марта 2023

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание № 075-03-2021-050 от 29.12.2020).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

равноценен.

Ключевые слова:

моделирование, проектная команда, теоретико-игровая модель, модель рационального стимулирования, формирование команды, иерархическая игра, теория игр, управление проектной командой, конфликты в проектной команде, моделирование стратегий.

АННОТАЦИЯ

Данная работа посвящена разработке рекомендаций по управлению проектной командой на конфликтной стадии ее формирования с использованием инструментов теории игр. В ходе исследования были описаны основные подходы к моделированию деятельности проектной команды, а также подробно рассмотрены особенности процесса ее формирования. Для моделирования деловой активности на конфликтной стадии формирования команды была подобрана и адаптирована теоретико-игровая модель иерархического типа. Построенная модель стимулирования команды как разновидность иерархической игры позволяет рассматривать взаимодействие управляющего центра как с командой в целом, так и с отдельными участниками. Адаптированная модель применяется в задаче нахождения общего командного решения. В отличие от базовой модели, в адаптированной не используется тип каждого из участников команды, что значительно уменьшает количество информации, необходимое для расчётов, а также упрощает сами расчёты. При этом в базовую модель была добавлена информация о сложности задачи, связи между участниками команды, а также о приоритете поставленной перед участниками задачи. В сравнении с эмпирическим принятием решения о стимулировании разработанная модель позволяет управляющему центру не только гарантированно и в срок достигать поставленных перед проектной командой задач, но и также рационально использовать денежные ресурсы компании.

© ПНИПУ

© Никитина Мария Ильинична – магистр, e-mail: nikma1108@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9642-8372.

Гинцяк Алексей Михайлович – заведующий лабораторией «Цифровое моделирование промышленных систем», e-mail: aleksei.gintciak@spbpu.com, ORCID: 0000-0002-9703-5079.

Бурлуцкая Жанна Владиславовна – млад. науч. сотрудник лаборатории «Цифровое моделирование промышленных систем», e-mail: zhanna.burlutskaia@spbpu.com, ORCID: 0000-0002-5680-1937.

Зубкова Дарья Андреевна – младший научный сотрудник лаборатории «Цифровое моделирование промышленных систем», e-mail: daria.zubkova@spbpu.com, ORCID: 0000-0003-1106-5080.



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Perm Polytech Style: Nikitina M.I., Gintciak A.M., Burlutskaya Z.V., Zubkova D.A. The model of rational stimulation of project team members based on game theory tools. *Applied Mathematics and Control Sciences*, 2023, no. 1, pp. 72–88. DOI: 10.15593/2499-9873/2023.1.05

MDPI and ACS Style: Nikitina, M.I.; Gintciak, A.M.; Burlutskaya, Z.V.; Zubkova D.A. The model of rational stimulation of project team members based on game theory tools. *Appl. Math. Control Sci.* **2023**, 1, 72–88. <https://doi.org/10.15593/2499-9873/2023.1.05>

Chicago/Turabian Style: Nikitina, Maria I., Aleksei M. Gintciak, Zhanna V. Burlutskaya, and Daria A. Zubkova. 2023. “The model of rational stimulation of project team members based on game theory tools”. *Appl. Math. Control Sci.* no. 1: 72–88. <https://doi.org/10.15593/2499-9873/2023.1.05>



APPLIED MATHEMATICS
AND CONTROL SCIENCES

№ 1, 2023

<https://ered.pstu.ru/index.php/amcs>



Article

DOI: 10.15593/2499-9873/2023.1.05

UDK 519.83



THE MODEL OF RATIONAL STIMULATION OF PROJECT TEAM MEMBERS BASED ON GAME THEORY TOOLS

M.I. Nikitina, A.M. Gintciak, Z.V. Burlutskaya, D.A. Zubkova

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 08 September 2022

Approved: 08 February 2023

Accepted for publication:
10 March 2023

Funding

This research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No 075-03-2021-050 from 29 December 2020)

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Author Contributions

equivalent.

Keywords:

modeling, project team, stimulation, game theory, rational stimulation model, team formation, hierarchical game, task complexity, task priority, game-theoretic model.

ABSTRACT

This work is devoted to the development of recommendations for managing a project team at the conflict stage of its formation using game theory tools. In the course of the study, the main approaches to modeling the activities of the project team were described, as well as the features of the process of its formation were considered in detail. To model business activity at the conflict stage of team formation, a game-theoretic model of a hierarchical type was selected and adapted. The constructed model of team stimulation, as a kind of hierarchical game, allows us to consider the interaction of the management center both with the team as a whole and with individual participants. The adapted model is used in the task of finding a common team solution. Unlike the basic model, the adapted model does not use the type of each of the team members, which significantly reduces the amount of information needed for calculations, and also simplifies the calculations themselves. At the same time, information about the complexity of the task, the relationship between team members, as well as the priority of the task assigned to the participants was added to the basic model. In comparison with the empirical decision-making on incentives, the developed model allows the management center not only to achieve the tasks assigned to the project team with guarantee and on time, but also to use the company's monetary resources rationally.

© PNRPU

© **Maria I. Nikitina** – Master Student, e-mail: nikma1108@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9642-8372.

Aleksei M. Gintciak – Head of Laboratory of Digital Modeling of Industrial System, e-mail: aleksei.gintciak@spbpu.com, ORCID: 0000-0002-9703-5079.

Zhanna V. Burlutskaya – Junior Researcher of Laboratory of Digital Modeling of Industrial System, e-mail: zhanna.burlutskaya@spbpu.com, ORCID: 0000-0002-5680-1937.

Daria A. Zubkova – Junior Researcher of Laboratory of Digital Modeling of Industrial System, e-mail: daria.zubkova@spbpu.com, ORCID: 0000-0003-1106-5080.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Введение

Глобализация информационного обмена и необходимость в интеграции между собой различных управленческих, технологических и социальных процессов создает повышенный спрос на команды со смешанными специалистами из различных отраслей. Эта тенденция особенно заметна на примере IT-отрасли [1; 2]. Для IT-проектов характерны сложные многоуровневые задачи на стыке нескольких отраслей, которые невозможно решить с помощью одного специалиста. Поэтому в условиях высокой конкуренции на рынке IT-услуг именно командная работа играет ведущую роль в достижении ощутимых организационных результатов, способствует поддержанию конкурентных преимуществ компаний и их эффективности [3–5].

Практика различных стран, в том числе Японии и США, показала, что как материальное, так и моральное поощрение сотрудников, определение их мотивации может привести к повышению уровня качества работы [6]. Соответственно, одной из задач управления проектной командой является подбор модели рационального стимулирования сотрудников [7]. Однако, как и у самого проекта, у команды есть собственный жизненный цикл: от формирования до пика функционирования и расформирования [8–10]. На каждом этапе жизненного цикла команда переживает различные конфликтные ситуации с характерными уникальными особенностями и целями, что обуславливает необходимость для постоянной корректировки или смены модели в зависимости от этапа развития команды. В рамках данной работы было принято решение остановиться на анализе конфликтной стадии формирования команды.

На конфликтной стадии формирования команды организации требуется акцентировать свое внимание на решение конфликтов и поиске оптимального управленческого решения для эффективной командной работы на предприятии. Именно на этом этапе определяются правила работы в новой команде согласно модели, внедряемой менеджером проекта [7–9]. В свою очередь, поиск управленческих решений является одной из актуальных областей применения инструментов теории игр [10]. Использование теории игр позволяет рассмотреть стратегии поведения участников проектной команды как с точки зрения достижения максимальной индивидуальной выгоды, так и максимальной выгоды для команды в целом. Подобные модели позволяют оценить возможности того или иного сценария развития команды для выбора оптимального решения управляющим органом [7].

В данной статье рассматриваются подходы к моделированию деятельности проектной команды с учетом анализа их деловой и межличностной активности. В рамках данной работы была выделена конфликтная стадия формирования команды и разработана модель рационального стимулирования с использованием инструментов теории игр.

Основные подходы к моделированию деятельности проектной команды

Согласно РМВОК [7], проект представляет собой временное предприятие, предназначенное для создания уникальных продуктов, услуг или результатов. Временный характер проекта вносит дополнительные особенности в управление проектом в целом и в управление человеческими ресурсами в частности. На этапе планирования человеческих ресурсов проекта особое внимание уделяется формированию проектной команды.

Проектной командой считается группа людей, объединенных общей достижимой целью, в обязанности которых входит: обеспечение профессиональных и/или технических

знаний для выполнения задач проекта, достижение поставленной задачи в рамках временного и других ресурсов, предоставление отчетности перед непосредственным руководителем в необходимой форме [11]. При этом проектная команда формируется под каждый проект в отдельности согласно техническим требованиям проекта, соответствию должностным инструкциям и личными характеристиками (мотивация, дисциплина, ответственность) [12; 13].

На предприятии проектная команда может формироваться как из сотрудников компании, так и из привлеченных, нанятых извне людей. Вне зависимости от того, были ли участники команды знакомы до участия в проекте или познакомились непосредственно на проекте, проектная команда проходит несколько стадий формирования.

На сегодняшний день при рассмотрении стадий формирования проектной команды наиболее часто используют модели Такмана или же модели его последователей [8; 9], которые включают пять стадий: формирующая, конфликтная, нормирующая, функционирования и расформирования (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение моделей, описывающих стадии развития командообразования [8; 9; 14–17]

Модель	Основные стадии/принципы	Отличительные черты
Б.В. Такмен и его последователи [8; 9; 14]	Формирующая. Конфликтная. Нормирующая. Функционирования. Расформирования	Акцент на роли лидера, особое внимание уделяется межличностным отношениям
Дж. Каттенбах и Д. Смит [14–16]	Рабочая группа. Псевдокоманда. Потенциальная команда. Настоящая команда. Высокоэффективная команда	Акцент на роли лидера
М. Бир [14; 17]	Целеполагающий. Межличностный. Ролевой	Акцент на целях, взаимоотношениях и ролей внутри команды
Т.Ю. Базаров, И.В. Рыбкин и Т.С. Пыркова [14; 17]	Адаптация. Группирование. Кооперация. Нормирование деятельности. Функционирование	Лидер присутствует, однако он возникает в естественном процессе развития команды, а конечный результат зависит от всех членов команды
Г.Д. Зинкевич-Евстигнеева [14]	Принцип коллективного исполнения работы. Принцип коллективной ответственности. Принцип единой для команды формы стимулирования. Принцип адекватного стимулирования команды за конечный результат. Принцип автономного самоуправления команды. Принцип повышенной исполнительской дисциплины. Принцип добровольности вхождения в команду	Команда рассматривается в виде рабочей единицы, а не единой структуры, как в остальных трудах. Большое значение имеет конечный результат, полученный командой, а не ее формирование и долгосрочность командной работы
Д. Янкелович [17]	Старт. Состояние неопределенности. Ориентация на лидера. Жестко структурированная команда. Самоуправляемая рабочая команда	Только на пятой стадии команда становится самонаправляемой и считается сформированной. До пятого этапа все процессы управляются менеджером

Во всех рассмотренных моделях прослеживается общий алгоритм: знакомство группы; формирование общей цели; выбор лидера; сплочение членов группы; определение норм, правил и санкций за неисполнение или нарушение правил. Затем начинается функционирование команды, её работа и достижение общей цели. Поскольку начальный этап формирования команды наиболее подробно описан в модели Такмана, именно она будет использоваться в рамках данной статьи.

Конфликт на этапе формирования команды

В модели Такмана выделены две сферы групповой активности: деловая и межличностная. Под деловой активностью подразумевается деятельность, направленная на решение групповой задачи. В сфере деловой активности Б. Такмен выделил: стадию «ориентировки в задаче», стадию «эмоционального ответа на требования задачи», стадию «открытого обмена релевантными интерпретациями», стадию «принятия решений» [14].

Наибольший интерес в рамках данного исследования представляет стадия «эмоционального ответа на требования задачи», или же конфликтная стадия, так как именно она эмоционально наиболее энергозатратна для команды, поскольку на этом этапе члены команды имеют различные мнения, пытаются взаимодействовать и выявить общую цель, прийти к решению разногласий.

На этой стадии некоторые решения уже проходят в группе без руководства, но через трудности. Члены команды борются за свои позиции, поскольку они пытаются утвердиться в отношении других членов команды и лидера [18; 19]. Ключевая мотивация здесь – это авторитет и социальное одобрение. Нормальным явлением для этой стадии является возникновение «группировок», и может идти борьба за власть.

На данном этапе выделяются следующие ключевые особенности:

- цели и задачи проекта уже всем понятны;
- роли и обязанности понятны;
- взаимодействие между участниками группы не командное, а личное;
- мнения по тому, как задача должна быть выполнена, различаются;
- другие точки зрения не принимаются;
- моральный дух команды падает;
- производительность снижается.

Вследствие чего при отсутствии грамотного управления командой на этой стадии велик риск ее распада ввиду непреодолимости возникших конфликтов. Команда должна быть сосредоточена на своих целях, чтобы не отвлекаться на отношения и эмоциональные проблемы. Для достижения прогресса могут потребоваться компромиссы [20–22].

Применение теории игр

Инструменты теории игр используются для выявления оптимальных стратегий у игроков. Методы теории игр применяются в экономике, социологии, психологии, политологии и в других сферах. Поэтому для облегчения поиска решений по управлению проектными командами в последнее время все чаще используются инструменты теории игр [23].

Современную теорию игр условно можно разделить на две части. Это – теория некооперативных игр и теория кооперативных (коалиционных) игр. Кооперативные игры отли-

чаются от некооперативных возможностью вступления в коалиции, но не только [24]. Содержательное отличие заключено и в самих предметах изучения. В некооперативных играх основное внимание уделяется поиску ответов на вопрос: «Что должны делать игроки, чтобы достичь некоторого желаемого для каждого конкретного участника состояния?». То есть работает принцип «каждый сам за себя». При этом решением такой задачи будет равновесие Нэша [25]. Равновесием Нэша называется комбинация лучших стратегий игроков. При этом стратегия считается лучшей, если у игрока нет стимула отклоняться от выбранного профиля стратегий, поскольку отклонение не увеличит индивидуальный выигрыш, если другие участники придерживаются той же стратегии [26].

Исследования по кооперативным играм, как правило, фокусируются на закономерностях образования объединений (коалиций) участников. Анализ данных закономерностей осуществляется на основе информации о возможных исходах (последствиях) объединения для тех или иных коалиций [27]. Таким образом, традиционным является положение вещей, при котором в теории некооперативных игр основной единицей анализа является индивидуальный участник, а в теории кооперативных игр – группа участников (коалиция) [28].

В управлении проектными командами чаще встречается кооперативный тип игры, члены команды соединяются в коалиции, преследуя определенные цели. Однако, несомненно, есть место и некооперативному типу, например, при работе команды с заказчиком, в такой ситуации каждая сторона будет играть за себя. Так как в контексте данной работы рассматриваются проблемы, возникающие внутри команды, между ее участниками, то применяться в работе будут игры кооперативного типа.

Поскольку на конфликтной стадии формирования команда не может управляться самостоятельно, необходимо строить модель взаимодействия внутри команды вокруг центрального управляющего органа. Игры, в которых управляющий орган определяет правила, по которым другие игроки последовательно действуют, называется иерархической [29; 30].

В данной статье проблема принятия коллективного решения будет рассматриваться как иерархический тип моделей из теории игр. Таким образом, в игре будут принимать участие два типа игроков. Некий управляющий центр и подчиненная ему команда. Центр при этом имеет право делать свой ход первым, тем самым задавая некоторые правила, которым следует команда. Для построения выбрана модель стимулирования команды как разновидность иерархической игры, которая позволяет рассматривать взаимодействие центра как с командой в целом, так и с отдельными участниками [31; 32].

Формальное описание игры в общем виде

В моделировании участвует команда из $N = \{1, 2, \dots, n\}$ участников – агентов. Каждый агент i принимает самостоятельное решение $x_i \in X_i, i \in N$. Будем считать, что множество решений каждого агента обладает свойством $X_i = \mathfrak{R}_+^1, i \in N$, то есть стратегия каждого из игроков заключается в максимизации своего выигрыша, при этом задачи уменьшить выигрыш других участников у игрока не стоит. Результат деятельности команды $z = Q(x)$ зависит от действий, выбранных командой, через функцию агрегирования Q , где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X' = \prod_{i \in N} X_i$, а функция агрегирования наблюдается центром и зависит от вектора x действий всех агентов $Q: X' \rightarrow \mathfrak{R}_+^1$.

В моделях коллективного стимулирования системой стимулирования принято считать множество неотрицательных индивидуальных для каждого участника команды вознаграждений, зависящих от результата деятельности команды в целом $\sigma(z) = (\sigma_1(z), \sigma_2(z), \dots, \sigma_n(z))$ [31]. Система может быть ограничена бюджетом: $\sum_{i \in N} \sigma_i(z) = K$.

Целевая функция i -го агента выглядит следующим образом:

$$f_i(x, \sigma_i(\cdot), r_i) = u_i(\sigma_i(z) - c_i(x, r_i)), i \in N, \quad (1)$$

где u_i – полезность от вознаграждения для i -го агента, c_i – затраты агента, которые, в свою очередь, зависят от действий агента x и его типа r_i , то есть совокупности его существенных характеристик, таких как производительность труда, эффективность деятельности и т.д.

Для заданной системы стимулирования запишем множество равновесий Нэша.

$$E_N(\sigma(\cdot)) = \{x^* \in X \mid \forall i \in N, \forall x_i \in X_i\}, \quad (2)$$

$$f_i(x_{-i}^*, x_i, \sigma_i(Q(x_{-i}^*, x_i, r_i))) \leq f_i(x^*, \sigma_i(Q(x^*)), r_i), \quad (3)$$

где $x_{-i} = (x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n)$ – обстановка игры для i -го агента.

Рассмотрим теперь целевую функцию центра, которая представляет собой разность между его доходом H от результата деятельности z команды и суммарным стимулированием, выплаченным агентам:

$$\Phi(z, \sigma) = H(z) - \sum_{i \in N} \sigma_i(z). \quad (4)$$

Задача стимулирования команды (задача коллективного стимулирования) заключается в выборе системы стимулирования (быть может, удовлетворяющей бюджетному ограничению), которая максимизировала бы эффективность стимулирования – гарантированный выигрыш центра на множестве равновесий игры агентов:

$$\min_{x^* \in E_N(\sigma(\cdot))} \left[H(Q(x^*)) - \sum_{i \in N} \sigma_i(Q(x^*)) \right] \rightarrow \max_{\sigma(\cdot)}. \quad (5)$$

Результаты

Модель стимулирования команды с учетом сложности задачи

В отличие от базовой модели, в новой будет учитываться сложность поставленной задачи, которая будет известна как центру, так и участникам команды. Таким образом, центр, в зависимости от желаемого результата, может оперировать количеством вовлеченных в поиск решения людей с помощью компенсаций.

В рамках рассматриваемой игровой ситуации действия управляющего центра будут заключаться в выплате стимулирующих премий участникам команды. Считается, что действия управляющего центра (размеры стимулирования) будут зависеть от времени, отведенного на принятие решения по поводу определенной задачи, поставленной перед командой, и ограничиваться некоторым бюджетом.

Каждый из участников может: а) искать решение самостоятельно, используя свои знания в области задачи; б) искать решение совместно с другими участниками команды, обмениваясь знаниями с ними; в) делать вид, что ищет решение. Затраты агентов (участников команды) будут зависеть от выбранных действий. Так, например, затраты при выборе действия «в» равны нулю. Затраты при выборе действия «а» будут меньше, чем затраты при выборе действия «б», так как во втором случае агентам придется тратить некоторые силы и время на общение между собой. Однако и полезность, то есть скорость и эффективность принятия решений, при выборе стратегии «б» будет больше.

Затраты каждого из участников команды, помимо выбранных действий также зависят от степени сложности задачи, для которой необходимо найти решение, удовлетворяющее всю команду.

Так как точные действия участников команды центру неизвестны, то модель будет относиться к классу, где размер стимулирования каждого члена команды будет рассчитываться, исходя из результата совместной деятельности. По этой же причине, в модели не будет учитываться r_i – тип агента.

Будем считать затраты агентов несепарабельными, так как при выборе действия, предполагающего обсуждение проблемы с коллегами, затраты каждого агента будут изменяться при увеличении количества агентов, также выбравших это действие.

Обозначим участников команды множеством $N = \{1, 2, \dots, n\}$. Число участников может быть любым, но целесообразно его ограничить сверху оптимальным количеством сотрудников в IT-команде – 12 человек. Центр определяет некоторое время τ , за которое он хотел бы получить решение от команды. Обозначим за p – вероятность нахождения решения одним из участников команды за время τ . Управляющий центр стимулирует участников команды на поиски решения путем предоставления некоторой полезности $U \geq 1$, которую участник команды получает при нахождении решения.

Действия каждого из участников обозначим $x_i \in X_i, i \in N$. Каждый из игроков может выбрать одно из трех действий:

- 1) x_{i1} – не искать никаких решений в действительности, но делать вид, что принимаешь;
- 2) x_{i2} – искать решение самостоятельно. В таком случае вероятность найти решение равна p , а вероятность не найти решение соответственно $1 - p$;
- 3) x_{i3} – искать решение совместно с другими участниками команды. В таком случае вероятность найти совместное решение будет равно обратной вероятности того, что никто из ищущих решение его не найдет: $1 - (1 - p)^m$, где m – число участников команды, совместно ищущих решение.

Введем понятие сложности задачи q . Считается, что сложность задачи заранее известна как управляющему центру, так и каждому участнику команды. Будем считать, что непосильных задач для команды не существует, и вероятность нахождения решения не зависит от сложности задачи. При этом чем сложнее задача, тем большее количество участников команды необходимо привлечь для ее решения. Следовательно, с ростом сложности задачи растут и стимулирующие выплаты, предлагаемые участникам команды управляющим центром.

Также введем переменную w , которая будет описывать условные затраты участника на общение с остальными членами команды при принятии решения. Переменная экспо-

ненциально увеличивается с ростом количества членов команды, выбравших третий вариант действий.

Затраты участника команды c_i в общем случае будут зависеть от выбранного действия, сложности задачи и необходимости общения с коллегами:

1) для первого действия $c_{i1}(x_{i1}) = 0$;

2) для второго действия $c_{i2}(x_{i2}, q) = \alpha q$, где $\alpha = 0,01$ – положительный коэффициент приведения;

3) для третьего: $c_{i3}(x_{i3}, q, w) = \alpha(q + w^m)$, где m – количество участников команды, выбравших третье действие. Таким образом затраты каждого члена команды, выбравшего искать решение кооперативно, будут расти с увеличением числа коллег, выбравших это же действие. При этом стоит отметить, что в рамках решаемой задачи ключевой переменной, влияющей на затраты участников команды, является $1 \leq q \leq 10$. Для того, чтобы учесть рост затрат с увеличением количества участников обсуждения и при этом учесть большую зависимость затрат от сложности задачи, значение переменной w выберем близким к единице.

Определим полезность для каждого из действий.

1) для первого действия $u_{i1}(x_{i1}) = 0$;

2) для второго действия $u_{i2}(x_{i2}) = U \cdot p$. Математическое ожидание полезности есть произведение полезности U , получаемой участником при нахождении решения и вероятности его нахождения;

3) для третьего действия $u_{i3}(x_{i3}) = U(1 - (1 - p)^m)$, где m – количество участников команды, выбравших третье действие. То есть произведение полезности U , получаемой участником при нахождении решения, и обратной вероятности того, что объединенные усилия команды по поиску решения не приведут к желаемому результату.

Запишем теперь целевую функцию $f_i(x, q, w)$ – выигрыш для каждого варианта возможных стратегий игроков. Возможные варианты стратегий и целевые функции для каждого типа игроков представлены в табл. 2.

Рассмотрим более подробно стратегии, приведенные в табл. 2.

Первая стратегия в контексте данной игры будет считаться доминируемой, так как при выборе любой другой стратегии игрок может получить ненулевой выигрыш.

Теперь сравним вторую и третью стратегии. Рассмотрим наиболее неблагоприятный вариант исхода, в котором перед участниками команды поставлена задача наибольшей сложности ($q = 10$). С ростом сложности задачи затраты в двух стратегиях становятся близкими друг к другу (коэффициент w , отвечающий за затраты по коммуникациям, близок к единице и не вносит больших изменений в общие затраты при ограниченном количестве участников. Напомним, что количество игроков ограничено максимальным оптимальным составом участников команды ~ 12 человек). При этом вероятность нахождения решения, от которой зависит полезность стратегии, растет с количеством участников, предпринимающих совместные поиски. Таким образом, предпринимать попытки решения задачи в одиночку, при некотором количестве участников команды, ищущих решение задачи совместно, становится также доминирующей стратегией. Следовательно, исключаем из рассмотрения также пятую и седьмую стратегии.

Целевые функции игроков при различных выбранных стратегиях (источник авторские результаты)

Возможные стратегии	Тип участника команды		
	делает вид, что ищет	ищет самостоятельно	ищет совместно с другими участниками команды
Все делают вид	$f_i(x, q, w) = 0$	–	–
Все ищут индивидуально	–	$f_i(x, q, w) = u_i - c_i = U(1 - (1 - p)) - \alpha q$	–
Вся команда (n участников) ищет совместно	–	–	$f_i(x, q, w) = u_i - c_i = U(1 - (1 - p)^m) - \alpha(q + w^m)$
a участников делают вид, b участников ищут самостоятельно	$f_i(x, q, w) = u_i - c_i = U(1 - (1 - p))$	$f_i(x, q, w) = u_i - c_i = U(1 - (1 - p)) - \alpha q$	–
b участников ищут самостоятельно, m участников ищут коллективно	–	$f_i(x, q, w) = u_i - c_i = U(1 - (1 - p)^m) - \alpha q$	$f_i(x, q, w) = u_i - c_i = U(1 - (1 - p)^m) - \alpha(q + w^m)$
a участников делают вид, m участников ищут коллективно	$f_i(x, q, w) = u_i - c_i = U(1 - (1 - p)^m)$	–	$f_i(x, q, w) = u_i - c_i = U(1 - (1 - p)^m) - \alpha(q + w^m)$
a участников делают вид, b участников ищут самостоятельно, m участников ищут коллективно	$f_i(x, q, w) = u_i - c_i = U(1 - (1 - p)^m)$	$f_i(x, q, w) = u_i - c_i = U(1 - (1 - p)^m) - \alpha q$	$f_i(x, q, w) = u_i - c_i = U(1 - (1 - p)^m) - \alpha(q + w^m)$

Сравним теперь стратегии 6 и 3. Делаящим вид участникам команды невыгодно менять свою стратегию на поиск совместного решения, так как в таком случае их затраты возрастут. Следовательно, третья стратегия также является доминирующей.

Таким образом, приходим к выводу, что вся команда поделится на две части, одна из которых, объединив усилия, будет искать решение, а вторая в этот момент будет делать вид, что ищет.

Обозначим количество участников команды, которые собираются искать коллективное решение, за m .

Осуществим поиск равновесия Нэша, поскольку требуется найти выигрыш для отдельных игроков: 1) которые участвуют в поиске решения совместно с командой и 2) которые не принимают участия в командной работе.

Запишем два неравенства.

$$\begin{cases} U(1 - (1 - p)^m) - \alpha(q + w^m) \geq U(1 - (1 - p)^{m-1}) \\ U(1 - (1 - p)^m) \geq U(1 - (1 - p)^{m+1}) - \alpha(q + w^{m+1}) \end{cases} \quad (6)$$

Неравенства напрямую отражают равновесие Нэша, а точнее условие его выполнения. Когда изменение своей стратегии невыгодно ни одному игроку. В левой части первого неравенства представлен выигрыш, который получает игрок, выбравший поиск решения поставленной задачи вместе с другими игроками. В правой части этого неравенства – его выигрыш при отклонении от выбранной стратегии, то есть при выборе имитации процесса поиска. Во втором уравнении в левой части приводится выигрыш участника, не принимающего непосредственное участие в поиске решения для команды, а в правой части – его выигрыш при отклонении от выбранной стратегии.

Будем считать, что полезность центра H прямо пропорционально связана с количеством вовлеченных в решение задачи участников команды (так как ранее было оговорено, что количество участников команды, принимающих совместное решение, влияет на скорость и эффективность решения задачи). Тогда управляющий центр, зная сложность задачи, а также зная, какое количество человек необходимо для решения задачи в поставленные сроки, путем корректирования значения компенсации σ для каждого из участников может достигать максимума выигрыша. Компенсация σ при этом одинакова для всех участников команды и равна полезности U , получаемой каждым игроком при достижении коллективного решения. Общие затраты центра в таком случае будут являться суммой компенсаций, выплаченных участникам команды.

Числовой вид модели

Представим задачу в числовом виде. Пусть вероятность нахождения решения $p = 1/2$. Условные затраты участника на общение с остальными членами команды $w = 1,1$. Сложность задачи по десятибалльной шкале оценена как средняя $q = 5$.

Предположим также, что центру известно, какое количество участников команды m он хотел бы видеть решающими предложенную к рассмотрению задачу. m в таком случае будет являться отображением сложности задачи q и некоторого приоритета I , который эта задача имеет в глазах центра (от приоритета зависит необходимая скорость выполнения задачи, которая, в свою очередь, зависит от количества человек, принимающих непосредственное участие в ее решении). Можно сказать, что центру известно некоторое количество человеко-часов, необходимых для решения задачи определенной сложности. При этом если задача имеет низкий приоритет, на ее решение можно заложить небольшое количество людей, которые будут принимать коллективное решение. Таким образом, длительность принятия решения возрастет, однако уменьшатся издержки центра по выплатам компенсаций участникам команды. Пусть задан средний уровень приоритета задачи и количество участников, необходимое для ее решения, $m = 6$.

Подставляя предложенные значения в неравенства Нэша (6), записанные ранее, определим полезность U , получаемую каждым участником команды.

Получили следующее решение для неравенств:

$$4,3338 \leq U \leq 8,89436.$$

Так как перед центром стоит задача минимизировать затраты, то полезность U , которая для центра, в свою очередь, является компенсацией σ , должна быть минимизирована.

Таким образом, целевая функция центра, зависящая от результата деятельности команды, сложности поставленной задачи и ее приоритета, будет максимизироваться за счет минимизации затрат центра:

$$\Phi(z, \sigma) \rightarrow \max = H(z) - \left(\sum_{i \in N} \sigma_i(z, q, I) \right) \rightarrow \min. \quad (7)$$

Зафиксируем приведенные ранее переменные и рассмотрим зависимость размера затрат центра от сложности решаемой командой задачи. Пусть вероятность нахождения решения $p=1/2$, условные затраты участника на общение с остальными членами команды $w = 1,1$, приоритет задачи соответствует $m = 6$, количество участников в команде $n = 12$. Полученные расчеты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость затрат центра от сложности задачи (авторские результаты)

q	U	$\sum_{i \in N} \sigma_i(z, q, I) \rightarrow \min$
1	$1,7738 \leq U \leq 3,77436$	21,2856
2	$2,4138 \leq U \leq 5,05436$	28,9656
3	$3,0538 \leq U \leq 6,33436$	36,6456
4	$3,6938 \leq U \leq 7,61436$	44,3256
5	$4,3338 \leq U \leq 8,89436$	52,0056
6	$4,9738 \leq U \leq 10,1744$	59,6856
7	$5,6138 \leq U \leq 11,4544$	67,3656
8	$6,2538 \leq U \leq 12,7344$	75,0456
9	$6,8938 \leq U \leq 14,0144$	82,7256
10	$7,5338 \leq U \leq 15,2944$	90,4056

Рассмотрим зависимость затрат центра от приоритета задачи. Предположим, что вероятность нахождения решения $p=1/2$, условные затраты участника на общение с остальными членами команды $w = 1,1$, сложность задачи максимальна $q = 10$, количество участников в команде $n = 12$.

Полученные результаты, представленные в табл. 4, иллюстрируют большую зависимость затрат центра от приоритета задачи, требующей решения, чем от сложности задачи.

Таблица 4

Зависимость затрат центра от приоритета задачи (количества требуемых к вовлечению в решение задачи участников команды) (авторские результаты)

m	U	$\sum_{i \in N} \sigma_i(z, q, I) \rightarrow \min$
2	$0,4484 \leq U \leq 0,90648$	5,3808
3	$0,90648 \leq U \leq 1,83426$	10,87776
4	$1,83426 \leq U \leq 3,71536$	22,01112
5	$3,71536 \leq U \leq 7,5338$	44,58432
6	$7,5338 \leq U \leq 15,2944$	90,4056
7	$15,2944 \leq U \leq 31,0876$	183,5328
8	$31,0876 \leq U \leq 63,2727$	373,0512
9	$63,2727 \leq U \leq 128,96$	759,2724
10	$128,96 \leq U \leq 263,232$	1547,52
11	$263,232 \leq U \leq 538,15$	3158,784

Рисунок иллюстрирует зависимость затрат управляющего центра от приоритета и сложности задачи.

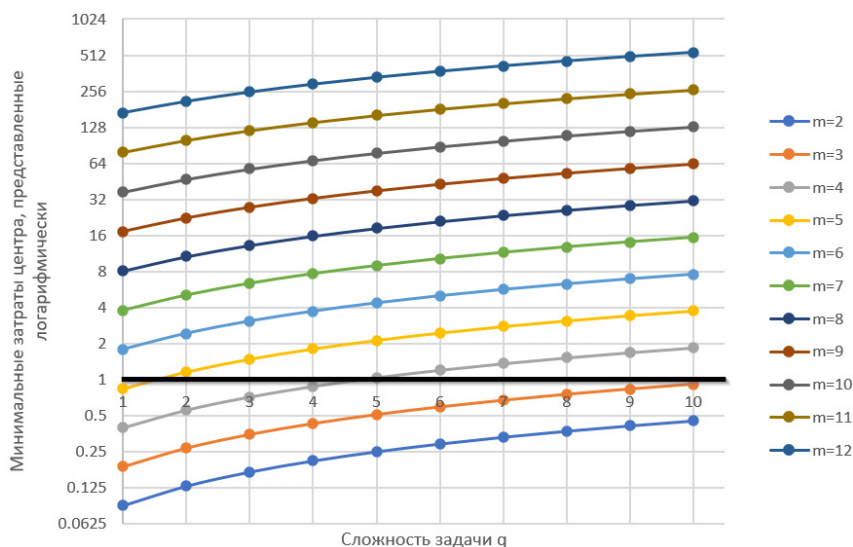


Рис. График зависимости затрат управляющего центра от приоритета и сложности задачи (авторские результаты)

По полученному графику можно определить, какие сочетания приоритета и сложности задачи не нуждаются в дополнительном поощрении – это значения, находящиеся ниже единичного значения затрат, например, при сложности задачи $q = 4$ и приоритете задачи $m = 4$.

Предложенная модификация задачи коллективного стимулирования по сравнению с базовой моделью упрощает поиск решения за счет отказа от учета типа игрока. Однако модель необходимо доработать для анализа фактического уровня компетенций и эффективности каждого из участников команды.

Модифицированная модель, приведенная в данной статье, в отличие от базовой, учитывает сложность предложенной для решения проектной задачи. Сложность является общеизвестной, что близко к реальным проектам, в которых сложность поставленной задачи понятна как менеджеру, так и всей команде. Знание сложности задачи позволяет управляющему центру определиться с количеством выплат, а участникам трезво оценить свои силы.

Заключение

В рамках данной статьи была рассмотрена вторая конфликтная стадия формирования проектной команды, выявлены основные вызовы, с которыми сталкивается команда на этом этапе. Для решения выделенной проблемы была модифицирована базовая модель коллективного стимулирования, в которую была внесена также информация о сложности и о приоритете задачи. Гибкость разработанной модели также позволяет учитывать уровень коммуникаций в команде с помощью параметра w .

В отличие от тактики эмпирического принятия решения, использование расчетов, полученных с помощью разработанной модели, позволит не только гарантированно и в срок достигнуть поставленные перед проектной командой задачи, но и рационально использовать денежные ресурсы компании.

Список литературы

1. Сабадош Л.Ю., Доценко Н.В., Чумаченко И.В. Комплексный подход к формированию команды проекта // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 1, № 10 (55). – С. 16–18.
2. Семина А.П. Влияние командной формы организации труда на эффективность организации. Формирование «суперкоманды» // Московский экономический журнал. – 2021. – № 11. – С. 682–699.
3. Зосименко Э.В. Человеческий фактор в обеспечении устойчивости функционирования современной организации // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2018. – № 3 (111). – С. 138–141.
4. Pazos P., Pérez-López M.C., González-López M.J. Examining teamwork competencies and team performance in experiential entrepreneurship education: emergent intragroup conflict as a learning triggering event // Education+ Training. – 2022.
5. Razinskas S. et al. Illuminating opposing performance effects of stressors in innovation teams / S. Razinskas [et al.] // Journal of Product Innovation Management. – 2022. – Vol. 39, no. 3. – P. 351–370.
6. Совершенствование управления персоналом организации / Т.В. Бобко [и др.] // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2018. – № 5. – С. 46–55.
7. Рач В.А., Борулько Н.А. Управление рисками проекта: общее и различия РМВОК 4 и РМВОК 5 // Управление проектами и развитие производства. – 2014. – № 1 (49). – С. 5–16.
8. Андруник А.П., Суглобов А.Е., Руденко М.Н. Кадровая безопасность. инновационные технологии управления персоналом: учебное пособие. – 2-е изд. – М.: Дашков и Ко, 2020. – 508 с.
9. Пугачев В.П. Управление персоналом организации: учебник и практикум для академического бакалавриата. – М.: Юрайт, 2019. – 402 с.
10. Управление проектами: фундаментальный курс / В.М. Аньшин [и др.] // Высшая школа экономики, 2013. – 624 с.
11. Вартамян А.А. Управление командой и организацией в бизнес-среде. – М.: Доброе слово, 2006.
12. Анатомия Agile [Электронный ресурс]. – URL: https://gosagile.cdto.ranepa.ru/3_1 (дата обращения: 21.01.2022).
13. Чернопятов А.М. Маркетинг персонала. – 2-е изд., стер. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2019. – 277 с.
14. Елькин Ю.А. Конфликты в команде на стадиях командообразования: техники преодоления: магистерская диссертация. – 2021.
15. Katzenbach J.R., Smith D.K. The wisdom of teams: Creating the high-performance organization // Harvard Business Review Press. – 2015.
16. Латфуллин Г.Р., Громова О.Н. Организационное поведение: учебник для вузов. – СПб.: Издательский дом «Питер», 2004.
17. Карякин А.М., Великороссов В.В. Основы командной работы. – 2019.
18. Исаев В.В. Организация работы команды проекта: учеб. пособ. – М.: Бизнеспресса, 2006. – 360 с.
19. Степанов Е.И. Современная конфликтология. Общие подходы к моделированию, мониторингу и менеджменту социальных конфликтов: учебное пособие. – М.: ЛКИ, 2015. – 176 с.

20. Охременко И.В. Конфликтология: учебное пособие для вузов. – М.: Юрайт, 2017. – 154 с.
21. Климов, Н.А., Чиркова Н.А. Стратегическое управление персоналом в организациях // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2019. – № 2. – С. 54–59.
22. Шарков Ф.И., Сперанский В.И. Общая конфликтология: учебник для бакалавров. – 2-е изд., стер. – М.: Дашков и К, 2020. – 236 с.
23. Колесник Г.В. Теория игр с приложениями к моделированию экономических систем. – М.: Ленанд, 2017. – 256 с.
24. Chalkiadakis G. Computational aspects of cooperative game theory // Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning. – 2011. – Vol. 5, no. 6. – P. 1–168.
25. Вильямс, Дж.Д. Совершенный стратег, или Букварь по теории стратегических игр. – М.: Либроком, 2017. – 274 с.
26. Optimal strategies and cost-benefit analysis of the n-player weightlifting game / D.C.N. Cuaresma [et al.] // Scientific reports. – 2022. – Vol. 12, no. 1. – P. 1–10.
27. Караваев А.П. Модели и методы управления составом активных систем. – М.: ИПУ РАН, 2003.
28. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. – М.: Синтег, 2002.
29. Planning and Overall Economic Evaluation of Photovoltaic-Energy Storage Station Based on Game Theory and Analytic Hierarchy Process / X. Han [et al.] // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 110972–110981.
30. Improvement of competitiveness through the application of analytic hierarchy process, game theory, decision trees and design of experiments tools / L.R. Martínez [et al.] // Dyna. – 2022. – Vol. 89, no. 220. – P. 187–194.
31. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – М., 2005.
32. Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд. – М., 2008.

References

1. Sabadash L.Yu., Dotsenko N.V., Chumachenko I.V. Kompleksnyj podxod k formirovaniyu komandy proekta [Integrated approach to project team formation]. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, 2012, vol. 1, no. 10 (55), pp. 16-18.
2. Semina A.P. Vliyanie komandnoj formy organizacii truda na e'ffektivnost' organizacii. formirovanie «superkomandy» [The influence of the command form of labor organization on the effectiveness of the organization. Formation of the "Super team"]. *Moscow Economic Journal*, 2021, no. 11, pp. 682-699.
3. Zosimenko E.V. Chelovecheskij faktor v obespechenii ustojchivosti funkcionirovaniya sovremennoj organizacii [The human factor in ensuring the sustainability of the functioning of a modern organization]. *Izvestiya St. Petersburg State University of Economics*, 2018, no. 3 (111), pp. 138-141.
4. Pazos P., Pérez-López M.C., González-López M.J. Examining teamwork competencies and team performance in experiential entrepreneurship education: emergent intragroup conflict as a learning triggering event. *Education+ Training*, 2022.

5. Razinskas S. et al. Illuminating opposing performance effects of stressors in innovation teams. *Journal of Product Innovation Management*, 2022, vol. 39, no. 3, pp. 351-370.
6. Bobko T.V. et al. Sovershenstvovanie upravleniya personalom organizacii [Improving the organization's personnel management]. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 2018, no. 5, pp. 46-55.
7. Rach V.A., Borulko N.A. Upravlenie riskami proekta: obshhee i razlichiya PMBOK 4 I PMBOK 5 [Project risk management: common and differences between PMBOK 4 and PMBOK 5]. *Project management and production development*, 2014, no. 1 (49), pp. 5-16.
8. Andrunik A.P., Suglovov A.E., Rudenko M.N. Kadrovaya bezopasnost'. innovacionnye texnologii upravleniya personalom [Personnel security. innovative technologies of personnel management. Study guide]. 2nd ed. Moscow, Dashkov and Co, 2020, 508 p.
9. Pugachev V.P. Upravlenie personalom organizacii [Personnel management of the organization]. Textbook and workshop for academic bachelor's degree. Moscow: Yurayt, 2019, 402 p.
10. Anshin V. M. et al. Upravlenie proektami: fundamental'nyj kurs [Project Management: Fundamental course]. Higher School of Economics, 2013, 624 p.
11. Vartanyan A.A. Upravlenie komandoj i organizaciej v biznes srede [Team and organization management in the business environment]. Moscow, Good Word, 2006.
12. Anatomiya Agile [Anatomy of Agile]. Available at: https://gosagile.cdto.ranepa.ru/3_1 (Accessed 21 January 2022)
13. Chernopyatov, A.M. Marketing personala [Personnel marketing]. 2nd ed., ster. Moscow, Berlin : Direct-Media, 2019, 277 p.
14. Yelkin Yu.A. Konflikty v komande na stadiyax komandoobrazovaniya: texniki preodoleniya: masterskaya dissertaciya [Conflicts in the team at the stages of team building: overcoming techniques: master's thesis]. 2021.
15. Katzenbach J.R., Smith D.K. The wisdom of teams: Creating the high-performance organization. *Harvard Business Review Press*, 2015.
16. Latfullin G.R., Gromova O.N. Organizacionnoe povedenie: Uchebnik dlya vuzov [Organizational behavior: Textbook for universities]. St. Petersburg, CJSC Publishing House "Peter", 2004.
17. Karyakin A.M., Velikorossov V.V. Osnovy komandnoj raboty [Fundamentals of teamwork], 2019.
18. Isaev V.V. Organizaciya raboty komandy proekta: ucheb. posob. [Organization of the work of the project team: studies. the manual]. Moscow, Biznespressa, 2006, 360 p.
19. Stepanov E.I. Sovremennaya konfliktologiya. Obshhie podxody k modelirovaniyu, monitoringu i menedzhmentu social'nyx konfliktov [Modern conflictology. General approaches to modeling, monitoring and management of social conflicts]. Textbook. Moscow, LKI, 2015, 176 p.
20. Okhrimenko I.V. Konfliktologiya [Conflictology]. Textbook for universities. Moscow, Yurayt, 2017, 154 p.
21. Klimov, N.A., Chirkova N.A. Strategicheskoe upravlenie personalom v organizacijax [Strategic personnel management in organizations]. *International Journal of Applied Sciences and Technologies "Integral"*, 2019, no. 2, pp. 54-59.
22. Sharkov F.I., Speransky V.I. Obshhaya konfliktologiya [General conflictology]. Textbook for bachelors. 2nd ed., ster. Moscow, Dashkov and K, 2020, 236 p.
23. Kolesnik, G.V. Teoriya igr s prilozheniyami k modelirovaniyu e'konomicheskix sistem [Game theory with applications to modeling of economic systems]. Moscow, Lenand, 2017, 256 p.

24. Chalkiadakis G. Computational aspects of cooperative game theory. *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*, October 2011, vol. 5, no. 6, pp. 1-168.
25. Williams, J.D. Sovershennyj strateg, ili Bukvar' po teorii strategicheskix igr [The Perfect strategist, or a Primer on the theory of strategic games]. Moscow, Librocom, 2017, 274 p.
26. Cuaresma D.C.N. et al. Optimal strategies and cost-benefit analysis of the n-player weightlifting game. *Scientific reports*, 2022, vol. 12, no. 1, pp. 1-10.
27. Karavaev A.P. Modeli i metody upravleniya sostavom aktivnyx sistem [Models and methods for controlling the composition of active systems]. Moscow, IPU RAS, 2003.
28. Gubko M.V., Novikov D.A. Teoriya igr v upravlenii organizacionnymi sistemami [Game theory in the management of organizational systems]. Moscow, Sinteg, 2002.
29. Han X. et al. Planning and Overall Economic Evaluation of Photovoltaic-Energy Storage Station Based on Game Theory and Analytic Hierarchy Process. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 110972-110981.
30. Martínez L.R. et al. Improvement of competitiveness through the application of analytic hierarchy process, game theory, decision trees and design of experiments tools. *Dyna*, 2022, vol. 89, no. 220, pp. 187-194.
31. Novikov D.A. Teoriya upravleniya organizacionnymi sistemami [Theory of management of organizational systems], 2005.
32. Novikov D.A. Matematicheskie modeli formirovaniya i funkcionirovaniya komand [Mathematical models of the formation and functioning of teams], 2008.