

Моделирование научно-исследовательских проектов с применением инструментов теории игр

Modeling R&D projects using game theory tools

doi 10.26310/2071-3010.2023.291.1.008



А. М. Гинцяк,

заведующий лабораторией «Цифровое моделирование промышленных систем» Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг»; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
✉ gintcyak_am@spbstu.ru

A. M. Gintciak,

head of Laboratory «Digital Modeling of Industrial Systems» in School of Advanced Engineering Studies in Digital Engineering; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Статья посвящена разработке и развитию теоретической базы моделирования стратегических взаимодействий, возникающих в ходе реализации научно-исследовательского проекта. Актуальность работы заключается в повышении результативности принимаемых решений по управлению научно-исследовательскими проектами и соответствующем повышении качества выполнения исследований и разработок. В результате исследования разработана базовая теоретико-игровая модель стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта, предназначенная для разработки частных моделей стратегических взаимодействий, возникающих в ходе реализации научно-исследовательского проекта, с применением специального метода, также предлагаемого в данной работе. Совместно результаты работы позволяют оценивать оптимальность равновесных исходов отдельных стратегических взаимодействий, а также оценивать результативность мер по повышению их оптимальности. Результаты исследования обладают научной новизной и нацелены на развитие методологической и инструментальной базы теории игр в направлении управления научно-исследовательскими проектами.

The article is devoted to development and evolving a theoretical basis for modeling strategic interactions that arise during the R&D project implementation. The relevance of the work lies in increasing the effectiveness of decisions made on the R&D projects management and the corresponding improvement in the quality of research and development. As a result of the study, a basic game-theoretic model of strategic interaction between the R&D project stakeholders has been developed, which is designed to develop particular models of strategic interactions that arise during the R&D project implementation, using a special method, also proposed in the article. Together, the results of the research make it possible to evaluate the equilibrium optimality outcomes of individual strategic interactions, as well as to evaluate the effectiveness of measures to improve their optimality. The results of the study are scientifically novel and are aimed at developing the methodological and instrumental base of game theory in the direction of managing R&D projects.

Ключевые слова: заинтересованная сторона, моделирование, научно-исследовательский проект, оптимизация, стратегическое взаимодействие, теория игр, управление

Keywords: game theory, management, modeling, optimization, R&D project, stakeholder, strategic interaction

Введение

Работа направлена на решение глобальной научной проблемы принятия обоснованных управленческих решений при управлении организационными системами. Эта проблема имеет высокую научную и прикладную значимость. Отсутствие адекватных решаемым задачам методов управления в организационных системах приводит к неоптимальности принимаемых управленческих решений, что значительно снижает качество управления и эффективность функционирования организационных систем в целом.

Согласно Указу Президента от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», одним из приоритетов развития в сфере повышения производительности труда и поддержки занятости является стимулирование внедрения передовых управленческих, организационных и технологических решений для повышения производительности труда и модернизации основных фондов. Принятие обоснованных управленческих решений является одним из критериев эффективности управления, что соответствует обозначенным приоритетам национального развития.

Научно-исследовательские проекты, как правило, реализуются в условиях жестких ограничений

на использование ресурсов по причине их большой неопределенности и наличия существенной задержки между предоставлением ресурсов для реализации проекта и получением результата, значимого для практической деятельности [1]. Снижение эффективности реализации проекта в таких условиях недопустимо, так как приводит к заведомо более слабым результатам. Именно поэтому научно-исследовательские проекты предъявляют более высокие требования к качеству инструментов управления по сравнению с другими видами проектов. Повышение обоснованности принимаемых управленческих решений в научно-исследовательских проектах позволит повысить результативность их реализации и эффективность использования ресурсов в них. Использование неподходящих методов управления снижает эффективность принимаемых управленческих решений, что в свою очередь влечёт за собой снижение эффективности функционирования системы в целом.

Актуальность работы состоит в несовершенстве существующих моделей и методов управления научно-исследовательскими проектами, выраженном в отсутствии комплексного подхода к описанию и исследованию стратегических взаимодействий, составляющих научно-исследовательский проект, что подтверждается аналитическим обзором современного состояния исследований в данном направлении [2]. Согласно дан-

ному обзору, существующие подходы решают частные вопросы теории управления проектами — в основном, вопросы организации аукционов [3] и контрактования [4], а также вопросы попарного взаимодействия отдельных ролей [5, 6]. Данный факт не позволяет моделям претендовать на универсальность даже в рамках одного класса объектов управления.

Помимо высокого уровня неопределенности в достижении запланированного результата, научно-исследовательские проекты имеют и другие особенности: большое количество заинтересованных сторон, имеющих отношение к реализации проекта на протяжении одной или нескольких фаз жизненного цикла [7]; разнообразие их интересов (и их противоречивость); разнообразие инструментов влияния на проект; разнообразие целевых функций. Данные особенности делают предпочтительным использование инструментов теории игр при управлении научно-исследовательскими проектами [8, 9]. Развитие инструментов теории игр применительно к решению конкретных практических задач внесет вклад в развитие научной дисциплины теории игр и повлияет на качество научных результатов других исследований в данной области, что обуславливает научную значимость решения обозначенной проблемы.

Методы исследования

Для решения задачи поддержки принятия решений по управлению научно-исследовательскими проектами используется расширенный инструментарий теории игр как научного направления на стыке прикладной математики, информатики и кибернетики, изучающего оптимальные решения стратегических агентов в рамках их взаимодействий [10]. При этом под стратегическим агентом понимается лицо, группа лиц с централизованным управлением или организация, способные в рамках взаимодействия с другими стратегическими агентами принимать решения в собственных интересах с учётом действий других стратегических агентов [11].

Практическая значимость теории игр заключается в двух решаемых задачах. Во-первых, в прогнозировании принимаемых решений всеми сторонами с помощью анализа равновесных решений. В этом случае можно смоделировать стратегические взаимодействия в ходе реализации проекта и использовать результаты моделирования при принятии управленческих решений. Во-вторых, теория игр может использоваться как инструмент для проектирования игровых взаимодействий в ходе реализации проектов. Игровые взаимодействия могут проектироваться таким образом, чтобы равновесные и парето-оптимальные профили стратегий совпадали. Это гарантирует эффективность взаимодействий заинтересованных сторон, повышая их суммарный выигрыш от принимаемых решений [12].

Научно-исследовательские проекты отличаются от проектов других типов тем, что их ключевые исполнители могут рассматриваться как стратегические агенты, являясь носителями уникальных навыков и обладая способностью к принятию стратегических решений, оказывающих влияние на ход реализации проекта. Данная особенность делает теорию

игр предпочтительным базовым инструментом для формирования комплексного подхода к принятию решений в управлении научно-исследовательскими проектами [13].

Для исследования стратегических взаимодействий научно-исследовательских проектов с применением инструментария теории игр необходимо определить соответствие элементов стратегического взаимодействия и элементов моделей теории игр. Онтологическая модель стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта и соответствующего ей игрового взаимодействия представлена на рис. 1.

Онтологическая модель, представленная на рис. 1, демонстрирует соответствие элементов стратегического и игрового взаимодействия. Часть модели, размещенная в блоке стратегического взаимодействия, описывает взаимосвязь элементов стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта. Ключевым элементом данного блока модели (участник стратегического взаимодействия, влияние, заинтересованность) приведены в соответствие элементы блока игрового взаимодействия (агент, набор стратегий, функция полезности). Множествами этих элементов описывается игровое взаимодействие, являющееся модельным описанием стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта в парадигме теории игр.

В ходе реализации проекта происходят взаимодействия заинтересованных сторон (агентов), которые являются стратегическими в случае наличия действительной возможности каждой из взаимодействующих сторон принимать стратегические решения. Под стратегическим решением при этом понимается такое решение, которое принимается в собственных интересах (для оптимизации собственной целевой функции агента) с учётом действий других агентов и, в свою очередь, влияющее на них.

Так как все участники научно-исследовательского проекта, а также большая часть окружающих его заинтересованных сторон обладают агентностью, реализацию проекта сопровождает большое разнообразие стратегических взаимодействий.

Так, по очередности принятия решений стратегические взаимодействия в научно-исследовательском проекте делятся на одновременные (предполагающие одномоментное принятие решений агентами) [14], многократные одновременные (предполагающие многократное итерационное одновременное принятие решений агентами), последовательные (предполагающие поочередное принятие решений агентами) [15]. Научно-исследовательский проект представляет собой продолжительное по времени мероприятие, включающее в себя регулярные и уникальные задачи, вовлекающие членов команды проекта и внешних заинтересованных сторон как одновременно, так и последовательно, что обеспечивает наличие игровых взаимодействий всех типов по очередности принятия решений.

По критерию наличия возможности заинтересованных сторон (агентов) кооперироваться в рамках конкретного стратегического взаимодействия в ходе

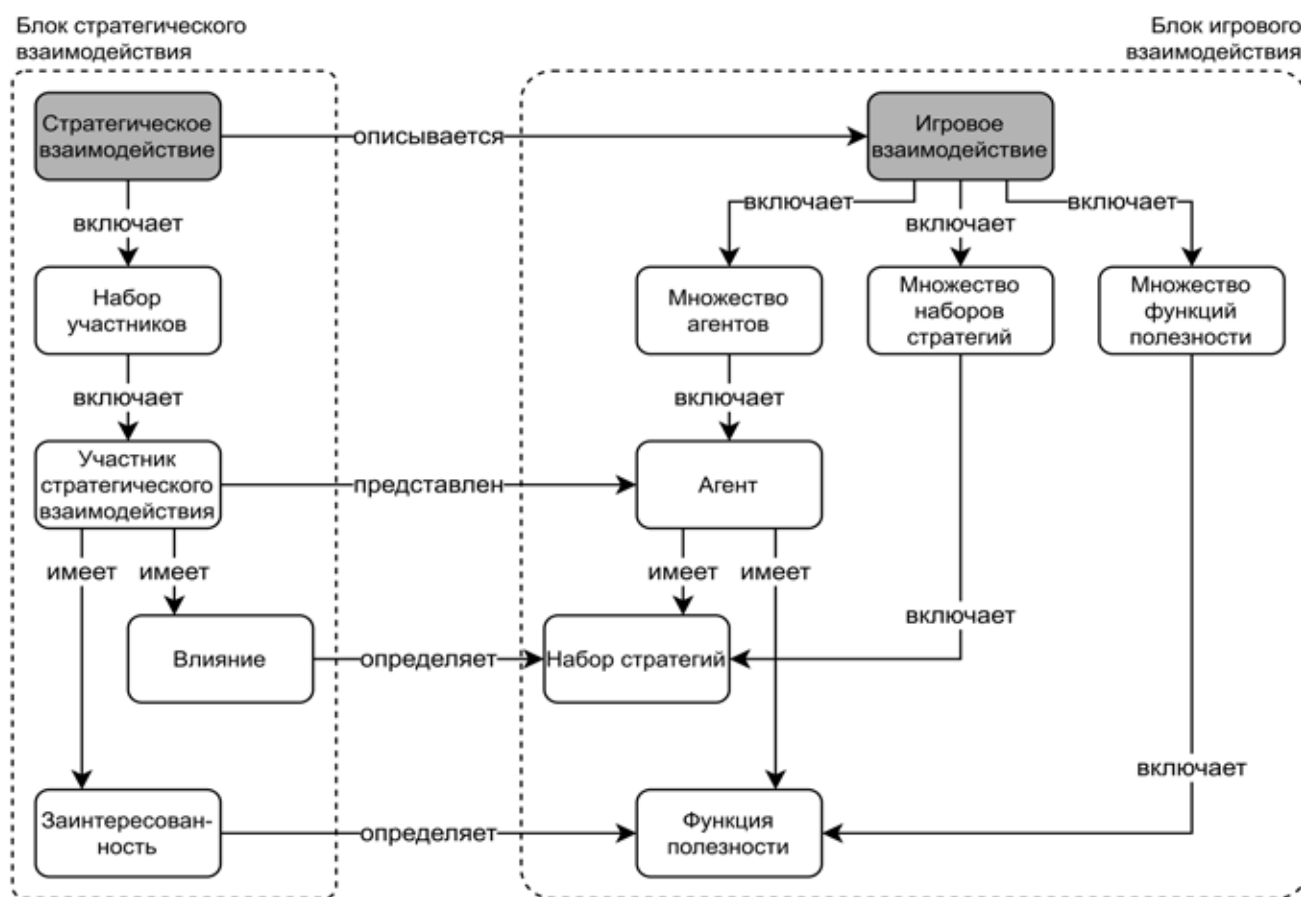


Рисунок 1. Онтологическая модель стратегического и игрового взаимодействий заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта

реализации научно-исследовательского проекта выделяют кооперативные (коалиционные) [16] и некооперативные [17] игровые взаимодействия. Как правило, стратегические взаимодействия членов научного коллектива и команды проекта являются кооперативными (предполагают возможность агентов достигать принципиальной договорённости, брать на себя обязательства, выступать координированно и перераспределять выигрыш), а взаимоотношения команды проекта с внешними заинтересованными сторонами являются некооперативными (не предполагают действительных возможностей для кооперации). При этом важно заметить, что для моделирования этих взаимодействий более обоснованно применять некооперативные игровые взаимодействия с ненулевой суммой, что отражает эмерджентность научно-исследовательского проекта (включая окружение) как организационной системы. В игровых взаимодействиях с ненулевой суммой подразумевается, что увеличение функции полезности одного агента не ведет к обязательному соответствующему уменьшению функций полезности других агентов, что позволяет участвующим сторонам договариваться и приходиться к взаимовыгодным исходам стратегического взаимодействия [18].

Отдельным классом кооперативных (коалиционных) игровых взаимодействий являются игры с трансферабельной полезностью (или игры с побочными платежами). В таких игровых взаимодействиях

агенты имеют возможность перераспределения выигрышей или платежей в коалиции агентов при условии неизменности суммы выигрышей или платежей всех агентов в коалиции. Такое допущение позволяет моделировать стратегические взаимодействия, в которых отдельные агенты имеют возможность увеличить коллективную функцию полезности коалиции при уменьшении собственной функции полезности с условием последующего перераспределения выигрышей между некоторыми агентами в коалиции с целью возмещения упущенной выгоды отдельным агентам коалиции. Кооперативные (коалиционные) игровые взаимодействия, предусматривающие возможность такого перераспределения, называются играми с трансферабельной полезностью.

Следующим важным критерием для классификации стратегических взаимодействий заинтересованных сторон в ходе реализации научно-исследовательского проекта является количество участников таких взаимодействий. По данному критерию стратегические взаимодействия делятся на парные (предполагающие участие двух стратегических агентов) и множественные (предполагающие участие трёх и более стратегических агентов). Как правило, парные игровые взаимодействия в научно-исследовательском проекте являются взаимодействиями между командой проекта и заинтересованными сторонами из внешнего контура, а также между на-

учным руководителем проекта и научными сотрудниками. Множественные игровые взаимодействия, в противоположность парным, чаще используются для моделирования коллективной исследовательской деятельности в составе команды проекта.

По симметричности стратегических взаимодействий научно-исследовательский проект также обладает разнообразием. Симметричные игровые взаимодействия (включающие в себя однородных агентов с одинаковыми профилями стратегий и одинаковыми функциями полезности) могут использоваться для моделирования стратегических взаимодействий равных по статусу членов научного коллектива или команды проекта (исключая научного руководителя и координатора проекта). Асимметричные игровые взаимодействия (включающие в себя разнородных агентов с различающимися профилями стратегий и разными функциями полезности) могут использоваться для моделирования всех прочих стратегических взаимодействий. Несмотря на то, что условия для использования симметричных игровых взаимодействий являются более строгими, их количество в ходе реализации научно-исследовательского проекта является существенным по причине того, что исследования и разработки (основная составляющая научно-исследовательского проекта) ведутся членами научного коллектива на равноправных условиях.

Сводная классификация стратегических взаимодействий заинтересованных сторон в ходе реализации научно-исследовательского проекта представлена на рис. 2.

Важно заметить, что одна и та же ситуация стратегического взаимодействия заинтересованных сторон

научно-исследовательского проекта может быть классифицирована в разные группы игровых взаимодействий в зависимости от цели исследования, что определяется не только характером самого взаимодействия, но и целями его моделирования, а также его ключевыми особенностями, выделяемыми исследованием при создании теоретико-игровой модели.

Базовая теоретико-игровая модель

Любое стратегическое взаимодействие заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта имеет инвариантную структуру в случае использования теории игр как основной концепции моделирования стратегических взаимодействий.

Модель теории игр (теоретико-игровая модель, игровое взаимодействие) является описанием стратегического взаимодействия в части прогнозирования решений, принимаемых его участниками в собственных интересах под влиянием решений, принимаемых другими участниками; а также для проектирования стратегических взаимодействий с целью повышения степени оптимальности равновесных решений.

Участники стратегического взаимодействия (заинтересованные стороны научно-исследовательского проекта) [19] представлены в теоретико-игровой модели в виде агентов (стратегических агентов, игроков). Заинтересованность участника стратегического взаимодействия находит отражение в функции полезности (целевой функции) агента — метрики для оценки и сравнения приоритетности возможных исходов игрового взаимодействия. Влияние участника стратегического взаимодействия определяет набор



Рисунок 2. Классификация стратегических взаимодействий заинтересованных сторон в ходе реализации научно-исследовательского проекта

возможных стратегий агента в рамках конкретного игрового взаимодействия. При этом функция полезности и набор возможных стратегий агента в рамках конкретного игрового взаимодействия зависят не только от выделенных глобальных заинтересованности и влияния участников, но и от особенностей моделируемого стратегического взаимодействия. Например, функция полезности может отражать локальную заинтересованность участника стратегического взаимодействия, полученную с помощью иерархической декомпозиции глобальной заинтересованности; а набор стратегий агентов может соответствовать конкретным решениям заинтересованных сторон стратегического взаимодействия в рамках глобальных направлений влияния на научно-исследовательский проект.

Базовая теоретико-игровая модель стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта задаётся тройкой из множества игроков, множества наборов стратегий каждого игрока и множеством функций полезностей для каждого игрока.

$$G = \langle P, S, F \rangle$$

где G — модель теории игр, описывающая стратегическое взаимодействие заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта,

P — множество агентов, соответствующих заинтересованным сторонам, участвующим в стратегическом взаимодействии,

S — множество наборов стратегий агентов, определяемых влиянием заинтересованных сторон, участвующих в стратегическом взаимодействии, в рамках данного стратегического взаимодействия,

F — множество функций полезности агентов, определяемых заинтересованностью сторон, участвующих в стратегическом взаимодействии, в рамках данного стратегического взаимодействия.

$$P = \{P_i\}$$

где P_i — i -ый агент,

i — порядковый номер агента, $i \in [1; n]$,

n — количество агентов, принимающих участие в игровом взаимодействии G , $n \in N$,

N — множество натуральных чисел.

$$S = \{S_i\}$$

где S_i — множество стратегий i -ого агента в рамках игрового взаимодействия G .

$$S_i = \{s_{ij}\}$$

где s_{ij} — j -ая стратегия i -ого агента в рамках игрового взаимодействия G ,

j — порядковый номер стратегии агента, $j \in [1; m_i]$,

m_i — количество стратегий i -ого агента в рамках игрового взаимодействия G .

$$F = \{F_i\}$$

где F_i — функция полезности i -ого агента в рамках игрового взаимодействия G , определённая на произведении множеств стратегий всех агентов (множество исходов игрового взаимодействия).

$$F_i : T \rightarrow R$$

где T — множество исходов игрового взаимодействия,

R — множество вещественных чисел.

$$T = \prod_{i \in [1; n]} S_i = \{t_k\}$$

где t_k — k -ый исход игрового взаимодействия G ,
 k — порядковый исхода игрового взаимодействия G , $k \in [1; l]$,

l — количество исходов игрового взаимодействия G .

$$l = \prod_{i \in [1; n]} m_i$$

Функция полезности определяет соответствие каждому элементу множества исходов игрового взаимодействия вещественное число, являющееся значением функции полезности отдельного агента при данном исходе.

$$F_i : f_i(t_k) = u_{ik}$$

где f_i — математическая функция от t_k , заданная в аналитическом виде или определённая перечислением значений;

u_{ik} — полезность (выигрыш, платёж) i -ого агента при k -ом исходе игрового взаимодействия G .

Представленная модель в общем виде описывает любое стратегическое взаимодействие заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта. На её основе возможно создание частных моделей отдельных стратегических взаимодействий, возникающих с участием различных заинтересованных сторон на отдельных фазах научно-исследовательского проекта.

Метод разработки частных моделей

Для разработки и исследования частных моделей отдельных стратегических взаимодействий, возникающих в ходе реализации научно-исследовательского проекта на основе базовой теоретико-игровой модели стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта предлагается использование следующего метода.

1. Разработать частную модель отдельного стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта, в частности:
 - 1.1. определить набор допущений для разработки частной модели отдельного стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта, отличающих данную модель от соответствующего ей стратегического взаимодействия;
 - 1.2. представить заинтересованные стороны научно-исследовательского проекта, участвующие в стратегическом взаимодействии на данной фазе реализации проекта, в виде агентов, принимающих участие в игровом взаимодействии;
 - 1.3. определить набор стратегий каждого агента, принимающего участие в игровом взаимодействии, на базе влияния соответствующей заинтересо-

- ванной стороны на ход реализации научно-исследовательского проекта;
- 1.4. определить функцию полезности каждого агента, принимающего участие в игровом взаимодействии, на базе заинтересованности в ходе реализации и результатах научно-исследовательского проекта соответствующей заинтересованной стороны;
 - 1.5. определить тип игрового взаимодействия на базе классификации стратегических взаимодействий заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта (рис. 2).
 2. Исследовать частную модель отдельного стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта с применением инструментов теории игр, предназначенных для соответствующего типа игровых взаимодействий, в частности:
 - 2.1. найти равновесие (равновесия) игрового взаимодействия в виде профиля стратегий, при котором ни один из агентов не может увеличить свою функцию полезности за счёт изменения собственной стратегии при условии неизменных стратегий остальных агентов;
 - 2.2. исследовать свойства равновесия (равновесий) игрового взаимодействия при различных значениях параметров стратегического взаимодействия, сделать выводы о влиянии отдельных факторов на исходы игрового и стратегического взаимодействий;
 - 2.3. найти оптимум игрового взаимодействия (при наличии) в виде профиля стратегий, при котором коллективная функция полезности всех агентов, участвующих в игровом взаимодействии, максимальна на всём множестве профилей стратегий;
 - 2.4. оценить соответствие (несоответствие) равновесного и оптимального профилей стратегий

- 2.5. сформировать предложения по модификации игрового взаимодействия с целью повышения оптимальности равновесного профиля стратегий.
3. Интерпретировать результаты исследования частной модели стратегического взаимодействия с применением онтологической модели стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта и соответствующего ей игрового взаимодействия (рис. 1), в частности интерпретировать предложения по модификации игрового взаимодействия с целью повышения оптимальности равновесного профиля стратегий на стратегическое взаимодействие для принятия решений по управлению научно-исследовательским проектом.

Принципиальная схема метода разработки и исследования частных моделей стратегических взаимодействий, возникающих в ходе реализации научно-исследовательского проекта представлена на рис. 3.

Данный метод позволяет разработать и исследовать частную модель отдельного стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта на основе базовой теоретико-игровой модели стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта, что даёт возможность прогнозирования наиболее вероятных исходов отдельных стратегических взаимодействий и их перепроектирования с целью повышения оптимальности прогнозируемых исходов.



Рисунок 3. Метод разработки и исследования частных моделей стратегических взаимодействий, возникающих в ходе реализации научно-исследовательского проекта

Заклучение

Полученные результаты формируют структуру научно-исследовательского проекта как организационной системы в части стратегических взаимодействий заинтересованных сторон, оказывающих влияние на ход реализации и результаты проекта. В отличие от других комплексных моделей научно-исследовательских проектов (например, [20, 21]), предлагаемая модель рассматривает проект как комплекс стратегических взаимодействий заинтересованных сторон и допускает расхождение частных интересов отдельных заинтересованных сторон с глобальными интересами всего проекта, что обеспечивает повышение достоверности результатов моделирования [22].

На основе базовой теоретико-игровой модели стратегического взаимодействия заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта могут формулироваться отдельные стратегические взаимодействия и разрабатываться их модели с применением инструментария теории игр. При этом выделение закрытого перечня стратегических взаимодействий заинтересованных сторон научно-исследовательского проекта принципиально невозможно по причине разнообразия проектов, а также регулярной модификации нормативно-правовой базы реализации научно-исследовательских проектов в части их взаимоотношений с заинтересованными сторонами из внешнего контура.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание № 075-03-2023-004 от 13.01.2023).

Список использованных источников

- G. Mavrotas, E. Makryvelios. Combining multiple criteria analysis, mathematical programming and Monte Carlo simulation to tackle uncertainty in Research and Development project portfolio selection: A case study from Greece//European Journal of Operational Research. 2021. № 2 (291). С. 794–806. doi: 10.1016/j.ejor.2020.09.051.
- А. М. Гинцяк. Классификация теоретико-игровых моделей в управлении проектами: литературный обзор//Прикладная математика и вопросы управления. 2021. № 3 (2021). С. 130–153. doi: 10.15593/2499–9873/2021.03.07.
- M. O. Ahmed [и др.]. Construction Bidding and the Winner's Curse: Game Theory Approach//Journal of Construction Engineering and Management. 2016. № 2 (142). С. 04015076. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943–7862.0001058.
- N. A. Zenkevich, Y. Sokolov, M. V. Fattakhova. Game-Theoretic Modeling of the Project Management Contract//Automation and Remote Control. 2020. № 11 (81). С. 2094–2107. doi: 10.1134/S0005117920110107.
- S. M. Muegge. A game theory perspective on product development project charters: the project manager — project sponsor relationship as an iterated Prisoner's Dilemma//International Journal of Project Organisation and Management. 2017. № 1 (9). С. 57. doi: 10.1504/IJPO.2017.083115.
- T. Karabyik [и др.]. Understanding the Interactions between the Scrum Master and the Development Team: A Game-Theoretic Approach//Mathematics. 2020. № 9 (8). С. 1553. doi: 10.3390/math8091553.
- O. I. Vasilieva, Y. A. Alekseeva, S. G. Redko. The project-based approach in organizing cooperation between business institutions and technical universities in digitalization conditions//Sociology of science and technology. 2022. № 13 (2). С. 135–149. doi: 10.24412/2079–0910–2022–2–135–149.
- M. Piraveenan. Applications of Game Theory in Project Management: A Structured Review and Analysis//Mathematics. 2019. № 7 (7). С. 858. doi: 10.3390/math7090858.
- Д. А. Зубкова, А. М. Гинцяк. Подходы к моделированию стратегических взаимодействий заинтересованных сторон для поддержки принятия решений в проектной деятельности//Сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции с зарубежным участием «Цифровая трансформация экономических систем: проблемы и перспективы (ЭКОПРОМ-2022)». С. 726–728. doi: 10.18720/IEP/2021.4/226.
- M. J. Osborne. An introduction to game theory/M. J. Osborne, New York: Oxford University Press, 2004. 533 с.
- J. Von Neumann, O. Morgenstern. Theory of games and economic behavior/J. Von Neumann, O. Morgenstern, 60th anniversary ed, Princeton, N. J.; Woodstock: Princeton University Press, 2007. 739 с.
- T. H. Quyet, N. B. Trinh, T. X. Nguyen. Nash Equilibrium Model for Conflicts in Project Management//Journal of Computer Science and Cybernetics. 2019. № 2 (35). С. 167–184. doi: 10.15625/1813–9663/34/3/13095.
- K. H. Bočková, G. Sláviková, J. Gabrhel. Game Theory as a Tool of Project Management//Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2015. № 213. С. 709–715. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.11.491.
- J. R. Wright, K. Leyton-Brown. Predicting human behavior in unrepeated simultaneous-move games//Games and Economic Behavior. 2017. № 106. С. 16–37. doi: 10.1016/j.geb.2017.09.009.
- T. Brihaye [и др.]. Dynamics and Coalitions in Sequential Games//Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science. 2017. № 256. С. 136–150. doi: 10.4204/EPTCS.256.10.
- S. Ueda [и др.]. Coalition structure generation in cooperative games with compact representations//Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. 2018. № 4 (32). С. 503–533. doi: 10.1007/s10458–018–9386-z.
- J.-S. Pang, S. Sen, U. V. Shanbhag. Two-stage non-cooperative games with risk-averse players//Mathematical Programming. 2017. № 1 (165). С. 235–290. doi: 10.1007/s10107–017–1148–1.
- A. Odekunle [и др.]. Reinforcement learning and non-zero-sum game output regulation for multi-player linear uncertain systems//Automatica. 2020. № 112. С. 108672. doi: 10.1016/j.automatica.2019.108672.
- R. Derakhshan, R. Turner, M. Mancini. Project governance and stakeholders: a literature review//International Journal of Project Management. 2019. № 1 (37). С. 98–116. doi: 10.1016/j.ijproman.2018.10.007.
- Q. Yang, J. Lu, S. Kherbachi. Progress in modeling and optimization for complex R&D project based on design structure matrix//System Engineering Theory and Practice. 2016. № 36 (4). С. 989–1002. doi: 10.1201/1000–6788 (2016)04–0989–14.

21. C. J. M. Victório, H. G. Costa, C. G. de Souza. Modeling selection criteria of R&D projects for awarding direct subsidies to the private sector//Science and Public Policy. 2016. № 2 (43). С. 275–287. doi: 10.1093/scipol/scu088.
22. М. В. Болсуновская [и др.]. Возможности применения гибридного подхода в моделировании социально-экономических и социотехнических систем//Вестник Воронежского государственного университета. Серия: системный анализ и информационные технологии. 2022. № 3. С. 73–86. doi: 10.17308/sait/1995–5499/2022/3/73–86.

References

1. G. Mavrotas, E. Makryvelios. Combining multiple criteria analysis, mathematical programming and Monte Carlo simulation to tackle uncertainty in Research and Development project portfolio selection: A case study from Greece//European Journal of Operational Research. 2021. V. 2 (291). P. 794–806. doi: 10.1016/j.ejor.2020.09.051.
2. A. M. Gintciak. Classification of game-theoretic models in project management: literature review//Applied mathematics and control issues. 2021. V. 3 (2021). P. 130–153. (In Russian). doi: 10.15593/2499–9873/2021.03.07.
3. M. O. Ahmed et al. Construction Bidding and the Winner's Curse: Game Theory Approach//Journal of Construction Engineering and Management. 2016. V. 2 (142). P. 04015076. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943–7862.0001058.
4. N. A. Zenkevich, Y. Sokolov, M. V. Fattakhova. Game-Theoretic Modeling of the Project Management Contract//Automation and Remote Control. 2020. V. 11 (81). P. 2094–2107. doi: 10.1134/S0005117920110107.
5. S. M. Muegge. A game theory perspective on product development project charters: the project manager — project sponsor relationship as an iterated Prisoner's Dilemma//International Journal of Project Organisation and Management. 2017. V. 1 (9). P. 57. doi: 10.1504/IJPO.2017.083115.
6. T. Karabiyik et al. Understanding the Interactions between the Scrum Master and the Development Team: A Game-Theoretic Approach//Mathematics. 2020. V. 9 (8). P. 1553. doi: 10.3390/math8091553.
7. O. I. Vasilieva, Y. A. Alekseeva, S. G. Redko. The project-based approach in organizing cooperation between business institutions and technical universities in digitalization conditions//Sociology of science and technology. 2022. V. 13 (2). P. 135–149. doi: 10.24412/2079–0910–2022–2-135–149.
8. M. Piraveenan. Applications of Game Theory in Project Management: A Structured Review and Analysis//Mathematics. 2019. V. 9 (7). P. 858. doi: 10.3390/math7090858.
9. D. A. Zubkova, A. M. Gintciak. Approaches to Modeling Strategic Interactions of Stakeholders for Decision Support in Project Activities//Proceedings of the VI All-Russian scientific and practical conference with foreign participation "Digital transformation of economic systems: problems and prospects (ECOPROM-2022)". P. 726–728. (In Russian). doi: 10.18720/IEP/2021.4/226.
10. M. J. Osborne. An introduction to game theory/M. J. Osborne, New York: Oxford University Press, 2004. 533 p.
11. J. Von Neumann, O. Morgenstern. Theory of games and economic behavior/J. Von Neumann, O. Morgenstern, 60th anniversary ed, Princeton, N. J.; Woodstock: Princeton University Press, 2007. 739 p.
12. T. H. Quyêt, N. B. Trinh, T. X. Nguyen. Nash Equilibrium Model for Conflicts in Project Management//Journal of Computer Science and Cybernetics. 2019. V. 2 (35). P. 167–184. doi: 10.15625/1813–9663/34/3/13095.
13. K. H. Bočková, G. Sláviková, J. Gabrhel. Game Theory as a Tool of Project Management//Procedia — Social and Behavioral Sciences. 2015. V. 213. P. 709–715. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.11.491.
14. J. R. Wright, K. Leyton-Brown. Predicting human behavior in unrepeated, simultaneous-move games//Games and Economic Behavior. 2017. V. 106. P. 16–37. doi: 10.1016/j.geb.2017.09.009.
15. T. Brihaye et al. Dynamics and Coalitions in Sequential Games//Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science. 2017. V. 256. P. 136–150. doi: 10.4204/EPTCS.256.10.
16. S. Ueda et al. Coalition structure generation in cooperative games with compact representations//Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. 2018. V. 4 (32). P. 503–533. doi: 10.1007/s10458–018–9386-z.
17. J.-S. Pang, S. Sen, U. V. Shanbhag. Two-stage non-cooperative games with risk-averse players//Mathematical Programming. 2017. V. 1 (165). P. 235–290. doi: 10.1007/s10107–017–1148–1.
18. A. Odekunle et al. Reinforcement learning and non-zero-sum game output regulation for multi-player linear uncertain systems//Automatica. 2020. V. 112. P. 108672. doi: 10.1016/j.automatica.2019.108672.
19. R. Derakhshan, R. Turner, M. Mancini. Project governance and stakeholders: a literature review//International Journal of Project Management. 2019. V. 1 (37). P. 98–116. doi: 10.1016/j.ijproman.2018.10.007.
20. Q. Yang, J. Lu, S. Kherbachi. Progress in modeling and optimization for complex R&D project based on design structure matrix//System Engineering Theory and Practice. 2016. V. 36 (4). P. 989–1002. doi: 10.12011/1000–6788 (2016)04–0989–14.
21. C. J. M. Victório, H. G. Costa, C. G. de Souza. Modeling selection criteria of R&D projects for awarding direct subsidies to the private sector//Science and Public Policy. 2016. V. 2 (43). P. 275–287. doi: 10.1093/scipol/scu088.
22. M. V. Bolsunovskaya et al. Possibilities of using a hybrid approach in modeling socio-economic and socio-technical systems//Bulletin of the Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technology. 2022. V. 3. P. 73–86. doi: 10.17308/sait/1995–5499/2022/3/73–86.