

**А.М. Гинцяк**

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

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕОРЕТИКО-ИГРОВЫХ МОДЕЛЕЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ: ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР**

Приводится обзор существующих моделей и методов управления проектами с применением отдельных инструментов теории игр. Цель обзора заключается в определении существующего уровня проработки данной научной тематики, а также в определении наиболее применимых классов игровых моделей и методов при изучении отдельных видов стратегических взаимодействий, возникающих на отдельных этапах жизненного цикла проекта. В качестве информационной базы аналитического исследования используются научные труды, опубликованные в международных рецензируемых журналах и сборниках докладов конференций за последние 10 лет.

Первая часть статьи посвящена описанию наиболее успешных примеров применения теоретико-игровых моделей для исследования стратегических взаимодействий в рамках процессов управления проектами. На основании данной части делается вывод о локальности применения инструментов теории игр для решения проблем управления проектами, а также о целесообразности разработки комплексного подхода, позволяющего описывать стратегические взаимодействия в процессах управления проектами в инвариантном виде.

Вторая часть статьи посвящена определению критериев для классификации существующих теоретико-игровых моделей. Выбранные в рамках данной части статьи критерии классификации используются в третьей и четвертой частях статьи.

Третья часть статьи посвящена классификации существующих моделей по составу агентов, принимающих участие в стратегическом взаимодействии. По данному критерию модели и методы разделены на классы «Государственно-частное партнерство», «Контрагент – контрагент», «Подрядчик – субподрядчик», «Субподрядчик – субподрядчик», «Взаимодействия внутри команды», «Другие». На основании результатов данной классификации делается вывод о доминирующем внимании исследователей к проблемам организации договорных отношений и явном недостатке внимания исполнителей внутри команды проекта к недоговорным отношениям.

Четвертая часть статьи посвящена классификации существующих моделей по их типу. В данном способе классификации производится разделение теоретико-игровых моделей в двух изменениях: игровые взаимодействия делятся на одновременные и последовательные, а также на кооперативные и некооперативные (внутри последнего класса – на игры с нулевой суммой и игры с ненулевой суммой). На основании результатов данной классификации определяются классы теоретико-игровых моделей, наиболее применимые при изучении стратегических взаимодействий в процессах управления проектами.

Результаты работы подтверждают перспективность разработки как частных теоретико-игровых моделей для описания конкретных стратегических взаимодействий, возникающих при реализации проекта, так и инвариантного подхода для описания проекта как комплекса стратегических взаимодействий заинтересованных сторон. Результаты работы могут быть использованы исследователями при обосновании актуальности собственных исследований по данной тематике.

**Ключевые слова:** классификация, контрактация, кооперативная игра, моделирование, некооперативная игра, принятие решений, прогнозирование, социально-экономическая система, стратегический агент, стратегическое взаимодействие, стратегия, теория игр, теория управления, управление проектами, функция полезности.

**A.M. Gintciak**

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

## **CLASSIFICATION OF THE GAME THEORY MODELS IN PROJECT MANAGEMENT: LITERATURE REVIEW**

The article provides a review of existing project management models and methods using particular game theory tools. The purpose of the review is to determine the current level of the research in this scientific topic, and to determine the most applicable classes of game-theoretic models and methods for the study of particular strategic interactions types that arise at certain stages of the project life cycle. Scientific papers published in international peer-reviewed journals and conferences proceedings over the past 10 years are used as an information base for analytical research.

The first part of the article is devoted to the description of the most successful examples of the game-theoretic models' application for the study of strategic interactions within project management processes. Based on this part, a conclusion is made about the locality of the game theory tools application for solving project management problems, as well as the expediency of developing an integrated approach that allows describing strategic interactions in project management processes in an invariant form.

The second part of the article is devoted to the definition of criteria for the existing game-theoretic models' classification. The classification criteria selected in this part of the article are used later in the third and fourth parts.

The third part of the article is devoted to the classification of existing models by the composition of agents participating in the strategic interaction. According to this criterion, the models and methods are divided into the classes "Public-private partnership", "Contractor – contractor", "Contractor – sub-contractor", "Subcontractor – subcontractor", "Interactions within the team", "Others". Based on the results of this classification, a conclusion is made about the dominant attention of researchers to the problems of organizing contractual relations and a clear lack of attention to non-contractual relations of performers within the project team.

The fourth part of the article is devoted to the classification of existing models by their type. In this classification method, game-theoretic models are divided in two changes: strategic interactions are divided into simultaneous and sequential, as well as cooperative and non-cooperative (within the last class, into zero-sum games and non-zero-sum games). Based on the results of this classification, certain classes of game-theoretic models are determined that are most applicable in the study of strategic interactions in project management processes.

The results of the work confirm the prospects of developing both particular game-theoretic models for describing specific strategic interactions that arise during the project implementation, and an invariant approach for describing a project as a complex of the stakeholders' strategic interactions. The results of the work can be used by researchers to substantiate the relevance of their own research on this topic.

**Keywords:** classification, contract, cooperative game, decision making, forecasting, game theory, management, modeling, non-cooperative game, project management, socio-economic system, strategic agent, strategic interaction, strategy, utility function.

### **Введение**

Проблеме обоснованного принятия решений в социотехнических системах уделяется большое внимание в мировом научном сообществе. Отдельный сегмент представляют исследования, использующие инструменты теории игр для решения задач принятия решений в социотехнических системах.

Теория игр является научным направлением, изучающим модели принятия решений стратегическими агентами [1]. Несмотря на то, что первоначально теория игр являлась подразделом микроэкономики [2], сегодня она применяется при решении актуальных проблем социологии [3], психологии [4], эпидемиологии [5], экологии [6], компьютерных наук [7]. Тем не менее наибольшее значение теория игр имеет при решении проблем управления в социально-экономических системах – в первую очередь в вопросах ценообразования [8], управления цепями поставок [9], рыночной и ресурсной конкуренции [10], рассматривая при этом поведенческие паттерны на разных уровнях.

Теория игр получила такое широкое применение по причине инвариантности описания стратегических взаимодействий в различных отраслях. Ключевое понятие теории игр – игра – формулируется как стратегическое взаимодействие двух или более стратегических агентов (игроков), обладающих набором взаимозависимых стратегий в рамках рассматриваемого взаимодействия, в котором все попарные (или множественные в случае более двух агентов) сочетания стратегий приводят к различным исходам, имеющим разную ценность для каждого из игроков [11]. Таким образом, теория игр оказывается применима во всех научных и практических дисциплинах, в которых взаимодействия людей удовлетворяют указанным выше предпосылкам.

Наиболее известны исследования ученых, удостоенных премии по экономике памяти Альфреда Нобеля: Дж. Нэш, Дж. Харсаньи, Р. Зельтен (1994, «за анализ равновесия в теории некооперативных игр»), Р. Ауман и Т. Шеллинг (2005, «за углубление нашего понимания сути конфликта и сотрудничества путем анализа теории игр»), Л.С. Шепли и Э.Э. Рот (2012, «за теорию стабильного распределения и практики устройства рынков»), О. Харт и Б. Хольмстрём (2016, «за вклад в развитие теории контрактов»), П. Милгром и Р. Уилсон (2020, «за усовершенствование теории аукционов и изобретение их новых форматов»).

Приведенные выше исследования являются верхушкой айсберга, представляя собой лишь самые успешные с точки зрения практики работы. При этом использование теории игр в социально-экономических системах настолько обширно, что целесообразно определять существующий уровень научных исследований в разрезе отдельных объектов управления. В данной обзорной статье рассматривается применение инструментов теории игр в конкретной предметной области – управлении проектами [12].

Потенциальная информационная база аналитического исследования состоит из научных трудов в области управления проектами с применением формализованных методов принятия управленческих решений. Под формализованными методами принятия управленческих решений понимаются экономико-математические модели и методы, системный анализ, экспертные оценки [13].

При формировании используемой информационной базы аналитического исследования принято решение выделить два ключевых критерия отбора источников: предметный и инструментальный.

Под предметным критерием понимается тип социально-экономических систем, в которых применяются формализованные методы принятия управленческих решений. По данному критерию выбираются работы, связанные с применением формализованных методов принятия управленческих решений в процессах управления проектами.

Под инструментальным критерием понимается тип методов, применяемых при управлении социально-экономическими системами. По данному критерию выбираются работы, посвященные применению инструментов теории игр.

Таким образом, используемой информационной базой настоящего аналитического исследования являются научные труды, опубликованные в международных рецензируемых журналах и сборниках докладов конференций за последние 10 лет, посвященные вопросам применения инструментов теории игр в процессах управления проектами.

## **1. Примеры применения теоретико-игровых моделей в управлении проектами**

Применение инструментов теории игр в управлении проектами не является новым [14], но данный факт не уменьшает перспективности подобных исследований в дальнейшем.

Традиционно теория игр пересекается с предметными областями управления проектами в части проектирования аукционов или процессов выбора поставщика для выполнения работ или поставки товаров в рамках крупных проектов, в первую очередь – строительных [15, 16]. Данные работы относятся к отдельному направлению теории игр – теории аукционов. Данное направление занимается разработкой эффективных форматов аукционов и рассматривает игровые взаимодействия между организатором и участниками аукциона или только между

участниками аукциона. Подобные игровые модели представляют ограниченный интерес для данного исследования, так как не относятся напрямую к управлению проектами, а имеют опосредованное отношение к нему. Контекст применения подобных теоретико-игровых моделей в процессах управления проектами сильно ограничен.

Существует класс моделей, использующих подходы теории игр к организации договорных отношений сторон в ходе реализации проектов [17–19]. Работы, относящиеся к данной проблематике (contract design), описывают распределение ответственности, возникающей в ходе выполнения проекта, между заказчиком и исполнителем, головным исполнителем и соисполнителями.

Традиционно инструменты теории игр используются в организации договорных отношений для того, чтобы определять суммы штрафов исполнителей и соисполнителей в случае задержки выполнения работ или ненадлежащего качества выполнения работ. Штраф в этом случае устанавливается на теоретически определяемом справедливом уровне, при котором все стороны договора имеют мотивацию к своевременному выполнению работ надлежащего качества [20]. Установленный в договорных отношениях штраф в этом случае играет роль «коммитмента», который делает для заказчика невозможным принятие работ, не удовлетворяющих требованиям контракта. При отсутствии прописанных в соглашении санкций за задержку в выполнении работ или выполнение работ ненадлежащим образом для заказчика в большинстве случаев является выгодным принять работы, исходя из предположения, что плохой результат работ лучше, чем отсутствие результата. Зная это, исполнитель теряет мотивацию к добросовестному выполнению работ. Данный феномен многократно описан в работах по теории игр [21, 22].

Помимо назначения оптимальных штрафов за ненадлежащее выполнение работ, инструменты теории игр используются при организации договорных отношений для справедливого распределения вознаграждения между исполнителями проекта [23, 24]. При этом оценивается вклад каждого исполнителя в общий результат, затем с помощью инструментов теории игр определяется влияние этого вклада на результат проекта, что служит основанием для оптимального распределения вознаграждения между исполнителями. Существуют работы, предлагающие использовать подобный подход и к распределению рисков между участниками проекта [25]. Предлагаемые подходы к распределению

вознаграждения между исполнителями имеют особую актуальность в проектах, в которых ключевые исполнители обладают субъектностью и являются носителями уникальных компетенций [26]. Это предполагает, что вклад каждого исполнителя в проект является уникальным, а вклады отдельных участников в проект не обладают аддитивностью по причине проявления синергетического эффекта. В связи с этим оценка индивидуального и командного вклада исполнителей является нетривиальной задачей, решение которой способно привести к справедливому распределению вознаграждения за реализацию проекта между исполнителями.

Отдельным видом взаимодействий, описываемых с помощью теории игр, являются проекты в рамках государственно-частного партнерства [27, 28]. Теория игр в данном случае рассматривает особенности интересов заинтересованных сторон и помогает выбрать оптимальный профиль стратегий. Как правило, целевой функцией для частных компаний при таком рассмотрении является функция прибыли, а для государственных органов – общественная полезность, степень развития института и налогооблагаемая база дохода компаний в регионе в разных комбинациях. Обычно такими проектами являются проекты по развитию инфраструктуры и региональному развитию [29], но и другие виды проектов также могут выполняться в рамках государственно-частного партнерства.

Наконец, с помощью теории игр рассматриваются также локальные примеры взаимодействий заинтересованных сторон внутри проекта. Примерами таких взаимодействий являются отношения руководителя проекта и спонсора проекта [30] или отношения Scrum-мастера и команды разработки в IT-проектах [31]. В данных моделях теории игр рассматриваются только два агента, способных принимать стратегические решения. Наличие иных заинтересованных сторон либо полностью игнорируется, либо считается, что их решения не являются стратегическими. В результате наличие таких допущений делает модели слишком упрощенными, а результаты изучения моделей – ограниченными. Добавление в такие модели иных заинтересованных сторон в виде агентов может сделать их более реалистичными, что повысит их практическую значимость [32].

Теория игр также применяется для решения частных задач управления проектами, например для решения конфликтов внутри проекта [33]. Подобные модели описывают взаимодействия двух или более участников

проекта в рамках конкретной конфликтной ситуации. Данные модели позволяют выделить наиболее предпочтительные стратегии каждого участника конфликта и предсказать исход конфликтной ситуации.

Перечисленные выше работы посвящены решению отдельных вопросов теории и практики управления проектами, поэтому не могут рассматриваться в качестве комплексного подхода к управлению проектами с применением инструментов теории игр. Тем не менее использование инструментов теории игр к управлению проектами является крайне перспективным.

## **2. Критерии для классификации теоретико-игровых моделей**

В качестве основы для структуры классификации в настоящей статье используется структура из работы [14], дополненная и модифицированная с учетом задачи, поставленной для аналитического исследования. В статье [14] приводится попытка классификации существующих моделей и методов управления проектами с применением инструментов теории игр. Классификация в рамках рассматриваемой статьи выполняется тремя способами:

1. Предметная область проекта. Представляет крайне ограниченный интерес в рамках настоящего аналитического исследования по причине сильного перекоса информационной базы в сторону строительных проектов, вследствие чего не используется для дальнейшего анализа в рамках настоящего аналитического исследования.

2. Состав игроков в стратегическом взаимодействии. Работы разделены на классы «Государственно-частное партнерство», «Контрагент – контрагент», «Подрядчик – субподрядчик», «Субподрядчик – субподрядчик», «Другие». В выделенных классах наблюдается основной акцент на договорных отношениях, сопровождающих проект, но при этом полностью игнорируются стратегические взаимодействия внутри команды проекта.

3. Тип теоретико-игровой модели, описывающей стратегическое взаимодействие. В данном способе классификации производится распределение работ сразу в двух измерениях: игровые взаимодействия делятся на одновременные и последовательные, а также на кооперативные и некооперативные (внутри этого класса дополнительно – на игры с нулевой суммой и игры с ненулевой суммой). Данный способ классификации

принципиален для настоящего аналитического исследования, так как он определяет конкретные инструменты теории игр, применение которых позволит принять решение в процессах управления проектами.

Способы классификации на основе состава игроков в стратегическом взаимодействии и на основе типа теоретико-игровой модели легли в основу структуры классификации моделей управления проектами с применением теории игр в рамках настоящего аналитического исследования. К оригинальным классам, выделенным в статье [14], автором добавлен класс «Взаимодействия внутри команды», включающий в себя модели, описывающие недоговорные отношения между исполнителями, являющимися физическими лицами.

### 3. Классификация участников игры по составу

Классификация теоретико-игровых моделей по составу игроков в стратегическом взаимодействии на основе описанной структуры с авторскими дополнениями приведена в табл. 1.

Таблица 1

Классификация моделей по составу игроков  
(авторские результаты на основе известной структуры [14])

Класс	Работы	Описание
«Государственно-частное партнерство»	[27], [28], [34–42]	Модели, описывающие договорные отношения государственных институтов и частных коммерческих компаний в рамках реализации проекта
«Контрагент – контрагент»	[18], [24], [43–51]	Модели, описывающие договорные условно равноправные партнерские отношения в рамках реализации проекта
«Подрядчик – субподрядчик»	[15–17], [52–54]	Модели, описывающие договорные отношения между заказчиком и исполнителем проекта
«Субподрядчик – субподрядчик»	[25], [55–62]	Модели, описывающие договорные отношения между исполнителями проекта (юридическими лицами)
«Взаимодействия внутри команды»	[30], [31], [33], [63], [64]	Модели, описывающие недоговорные отношения между исполнителями проекта (физическими лицами)
«Другие»	[19], [23], [65], [66]	Модели, не включенные ни в один из указанных выше классов

При анализе результатов классификации (см. табл. 1) можно заметить, что подавляющее большинство работ посвящены договорным отношениям между государственными институтами, подрядчиками и субподрядчиками в рамках распределения рисков, связанных с реализацией проекта, и прибыли, получаемой от реализации проекта, при этом в некоторых работах (например, работы [50, 58, 59, 62]) риски и прибыль совмещаются в рамках единой целевой функции. Данные работы относятся к направлению *contract design* и используются для обоснования участия государственных и частных компаний в глобальных проектах.

Модели классов «Государственно-частное партнерство» и «Подрядчик – субподрядчик» также содержат элементы теории аукционов, связанные с выбором поставщика для выполнения работ или поставки товаров для глобальных проектов.

При этом недоговорным отношениям исполнителей одного и разного уровней ответственности [67] уделяется недостаточно внимания (класс «Взаимодействия внутри команды»). Эти работы посвящены распределению работ между исполнителями внутри команды (не связанному с распределением рисков или прибыли) [63, 64] или стратегиям взаимоотношений между двумя ролями в проекте [30, 31]. Ни та, ни другая группа работ не претендует на создание обобщенной методологии управления проектом с применением теории игр.

#### **4. Классификация по типу теоретико-игровой модели**

Не менее важным способом классификации работ является классификация по типу используемой теоретико-игровой модели.

В первую очередь, согласно способу, описанному в работе [14], все модели делятся на игры в нормальной и развернутой форме. При этом возникает противоречие, так как нормальная и развернутая формы являются способами описания игр, а не типами теоретико-игровых моделей, поэтому в рамках аналитического исследования предлагаются использовать классы одновременных и последовательных игровых взаимодействий, подразумевая, что для описания одновременных используется нормальная форма записи, а для описания последовательных – развернутая.

Под одновременными игровыми взаимодействиями понимаются ситуации, в которых все агенты принимают решения одновременно (при этом не имеет значения, какое количество раз), не обладая ин-

формацией о решениях, принятых другими агентами, на момент принятия своего решения [68]. Напротив, в последовательных игровых взаимодействиях агенты принимают решения в заранее установленном порядке, обладая полной или неполной информацией о решениях других агентов, предшествующих моделируемому моменту [69].

Другим измерением, характеризующим тип теоретико-игрового взаимодействия, является возможность агентов организовывать коалиции для повышения своего выигрыша. Игры, в которых такая возможность предусмотрена, являются кооперативными (коалиционными) [70], в противном случае игры являются некооперативными [71]. При этом запрет на создание коалиций в рамках стратегического взаимодействия может быть как объективным (например, продиктованным антимонопольным или антикоррупционным законодательством), так и субъективным (основанным на убеждении исследователя, что создание коалиций в данном взаимодействии не является возможным или уместным). При изучении некооперативных игр исследователь фокусируется на прогнозировании исходов игры и потенциальных выигрышах отдельных игроков, а при изучении кооперативных игр – на справедливом распределении выигрыша среди участников коалиции [72].

Среди некооперативных игр выделяют игры с нулевой суммой и игры с ненулевой суммой [73]. Игры с нулевой суммой определяются следующей особенностью: при любом исходе сумма платежей (выигрышей) всех игроков равна нулю. Игры с нулевой суммой соответствуют стратегическим взаимодействиям, в рамках которых каждый игрок имеет возможность увеличивать свой выигрыш на какую-либо величину только за счет увеличения проигрыша других игроков на такую же величину. Такие ситуации возможны в закрытых системах без наблюдаемого синергетического эффекта, что значительно ограничивает область применения подобных моделей. Теоретико-игровые модели, не обладающие особенностями игр с нулевой суммой, являются играми с ненулевой суммой.

Классификация моделей по типу используемой теоретико-игровой модели в соответствии с описанными выше классами игровых взаимодействий приведена в табл. 2.

При анализе результатов классификации (см. табл. 2) можно заметить определенные тенденции, заключающиеся в соотношении встречаемости моделей разных классов в современной научной литературе.

Таблица 2

Классификация моделей по типу теоретико-игровой модели  
(авторские результаты на основе известной структуры [14])

Взаимодействия	Некооперативные игры		Кооперативные игры
	Игры с нулевой суммой	Игры с ненулевой суммой	
Одновременные игровые	[19], [43], [50], [65], [66]	[15], [16], [28], [33], [34], [45], [47], [51], [53]	[48], [55–63]
Последовательные игровые взаимодействия	[25]	[17], [27], [30], [35–42], [44], [46], [52], [54], [64]	[18], [23], [24], [31], [49]

К примеру, заметно малое количество работ, посвященных исследованию игр с нулевой суммой в управлении проектами по сравнению с играми с ненулевой суммой и кооперативными играми. Это объясняется строгостью условий, накладываемых на игры с нулевой суммой (закрытость системы, отсутствие синергетического эффекта), что довольно редко выполняется в социально-экономических системах, к которым относится и проект.

### Заключение

При сопоставлении результатов классификаций в соответствии с двумя способами обнаруживаются менее заметные, но не менее значимые результаты.

Во-первых, подавляющее большинство моделей класса «Государственно-частное партнерство» (см. табл. 1) являются играми с ненулевой суммой (см. табл. 2). Это объяснимо, так как кооперативными играми в их традиционном понимании они являться не могут в силу антикоррупционных мер, накладывающих строгие ограничения на распределение платежей (выигрышей) между стратегическими агентами. С другой стороны, как было замечено ранее, государственные институты и коммерческие компании различаются целевой функцией в рамках государственно-частного партнерства. Как правило, целевой функцией для коммерческих компаний является функция прибыли, а для государственных органов – общественная полезность, степень развития института и налогооблагаемая база дохода компаний в регио-

не в разных комбинациях. Таким образом, условие постоянства суммы платежей (выигрышей) агентов при любых исходах стратегического взаимодействия является принципиально невыполнимым в проектах в рамках государственно-частного партнерства.

Во-вторых, большая часть моделей класса «Субподрядчик – субподрядчик» (см. табл. 1) являются одновременными кооперативными играми (см. табл. 2). Почти все они относятся к известному направлению *contract design*, определяющему распределение прибыли, рисков и ответственности, возникающих в ходе выполнения проекта, между соисполнителями. Распределение платежей (выигрышей) между агентами, составляющими коалицию, относит данные модели к классу кооперативных, а необходимость одновременного согласования условий контракта для установления договорных отношений между соисполнителями проекта относит модели к классу одновременных игровых взаимодействий.

Понимание данных особенностей в применении теоретико-игровых моделей разных классов при моделировании взаимодействий между различными агентами необходимо для рационального подбора инструментов теории игр в рамках исследований в данной предметной области.

Обзор существующих моделей и методов принятия решений с применением инструментов теории игр показал, что теория игр применима в случаях, когда рассматриваемая ситуация включает в себя двух или несколько агентов, способных принимать стратегические решения. Эти агенты могут иметь разные целевые функции, принимающие разные значения в зависимости от того, какие решения принимают все агенты в рамках игрового взаимодействия. Практическая значимость теории игр заключается в двух решаемых задачах.

В первую очередь, 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 вторую очередь, 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.

Данные результаты работы могут быть использованы исследователями при обосновании актуальности собственных исследований по данной тематике.

### Список литературы

1. Osborne M.J. An introduction to game theory. – New York: Oxford University Press, 2004. – 533 p.
2. Von Neumann J., Morgenstern O. Theory of games and economic behavior. – 60th ed. – Princeton, N.J. ; Woodstock: Princeton University Press, 2007. – 739 p.
3. A networked-player trust game and its evolutionary dynamics / M. Chica [et al.] // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2018. – No. 6 (22). – P. 866–878.
4. Bhogal M.S., Galbraith N., Manktelow K. Physical attractiveness, altruism and cooperation in an ultimatum game // Current Psychology. – 2017. – No. 3 (36). – P. 549–555.
5. Optimal governance and implementation of vaccination programmes to contain the COVID-19 pandemic / M. Piraveenan [et al.] // Royal Society Open Science. – 2021. – No. 6 (8). – P. 210429.
6. Yang L., Zhang Q., Ji J. Pricing and carbon emission reduction decisions in supply chains with vertical and horizontal cooperation // International Journal of Production Economics. – 2017. – Vol. 191. – P. 286–297.
7. A survey on consensus mechanisms and mining strategy management in blockchain networks / W. Wang [et al.] // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 22328–22370.
8. Papanastasiou Y., Savva N. Dynamic pricing in the presence of social learning and strategic consumers // Management Science. – 2017. – No. 4 (63). – P. 919–939.
9. Hafezalkotob A. Competition, cooperation, and coopetition of green supply chains under regulations on energy saving levels // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2017. – Vol. 97. – P. 228–250.
10. Arslan B. The interplay of competitive and cooperative behavior and differential benefits in alliances // Strategic Management Journal. – 2018. – No. 12 (39). – P. 3222–3246.
11. Rasmusen E. Games and information: an introduction to game theory. – 4th ed. – Malden, MA; Oxford: Blackwell Pub, 2007. – 528 p.
12. Tsvetkova N., Tukkel I. Specifics of multi-project management: interaction and resources constraints // SHS Web of Conferences. – 2017. – Vol. 35. – P. 01056.
13. 30 years of intelligence models in management and business: A bibliometric review / J.R. López-Robles [et al.] // International Journal of Information Management. – 2019. – Vol. 48. – P. 22–38.

14. Piraveenan M. Applications of game theory in project management: a structured review and analysis // *Mathematics*. – 2019. – No. 9 (7). – P. 858.
15. Construction Bidding and the Winner's Curse: Game Theory Approach / M.O. Ahmed [et al.] // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2016. – No. 2 (142). – P. 04015076.
16. Xu J., Zhao S. Noncooperative game-based equilibrium strategy to address the conflict between a construction company and selected suppliers // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2017. – No. 8 (143). – P. 04017051.
17. Khanzadi M., Eshtehardian E., Chalekaee A. A game theory approach for optimum strategy of the owner and contractor in delayed projects // *Journal of Civil Engineering and Management*. – 2016. – No. 8 (22). – P. 1066–1077.
18. Akhbari M. Contractors' partnership in project resource management application of cooperative game theory approach // *Scientia Iranica*. – 2018. – No. 1 (27). – P. 469–480.
19. Zenkevich N.A., Sokolov Y., Fattakhova M.V. Game-theoretic modeling of the project management contract // *Automation and Remote Control*. – 2020. – No. 11 (81). – P. 2094–2107.
20. Redko S.G., Shadrin A.D. Quality assessment in cyber-physical systems // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2020. – Vol. 95. – P. 124–130. DOI: 10.1007/978-3-030-34983-7\_12
21. Muthukumar V., Sahai A. Commitment in regulatory spectrum games: Examining the first-player advantage // *Proceedings of 2017 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), 25–30 June 2017, Aachen, Germany*. – IEEE, 2017. – P. 2498–2502. DOI: 10.1109/ISIT.2017.8006979
22. Lan Y., Li Y., Papier F. Competition and coordination in a three-tier supply chain with differentiated channels // *European Journal of Operational Research*. – 2018. – No. 3 (269). – P. 870–882.
23. A general game-theoretic approach to harmonization the values of project stakeholders / T.G. Grigorian [et al.] // *Advances in Intelligent Systems and Computing* / ed by N. Shakhovska, V. Stepashko. – Cham: Springer International Publishing, 2018. – P. 146–165.
24. Revenue sharing for resource reallocation among project activity contractors / X. Lin [et al.] // *Annals of Operations Research*. – 2021. – No. 1-2 (301). – P. 121–141.
25. Pishdad-Bozorgi P., Srivastava D. Assessment of integrated project delivery (IPD) risk and reward sharing strategies from the standpoint of collaboration: a game theory approach // *Construction Research Congress 2018, 2–4April, 2018, New Orleans, Louisiana, USA / American Society of Civil Engineers* – 2018. – P. 196–206.
26. Comparative analysis of approaches to the specialists' competences / M.V. Bolsunovskaya, A.M. Gintciak, I.V. Yudina, P.S. Kozlovskii // *Advances in*

Social Science, Education and Humanities Research. – 2019. – Vol. 298. – P. 84–87. DOI: 10.2991/essd-19.2019.18

27. De Clerck D., Demeulemeester E. Creating a more competitive PPP procurement market: Game theoretical analysis // *Journal of Management in Engineering*. – 2016. – No. 6 (32). – P. 04016015.

28. Wang Y., Gao H.O., Liu J. Incentive game of investor speculation in PPP highway projects based on the government minimum revenue guarantee // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. – 2019. – Vol. 125. – P. 20–34.

29. The concept of “Smart City”: specific nature of innovative development of Russian Arctic cities / Detter G. [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – No. 1 (816). – P. 012018.

30. Muegge S.M. 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. – No. 1 (9). – P. 57.

31. Understanding the Interactions between the Scrum Master and the Development Team: A Game-Theoretic Approach / T. Karabiyik, A. Jaiswal, P. Thomas, A.J. Magana // *Mathematics*. – 2020. – No. 9 (8). – Art. 1553. DOI: 10.3390/math8091553

32. Gintciak A.M., Bolsunovskaya M.V., Redko S.G. Comparative analysis of approaches to the employees' distribution among the organization's projects // *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020 : 33, Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020, Granada, 10–11 April 2019. – Granada, 2019. – P. 4690–4694.*

33. Quyet T.H., Trinh N.B., Nguyen T.X. Nash equilibrium model for conflicts in project management // *Journal of Computer Science and Cybernetics*. – 2019. – No. 2 (35). – P. 167–184.

34. Medda F. A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships // *International Journal of Project Management*. – 2007. – No. 3 (25). – P. 213–218.

35. Using bargaining-game theory for negotiating concession period for BOT-type contract / L.Y. Shen [et al.] // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2007. – No. 5 (133). – P. 385–392.

36. Shen L.Y., Li H., Li Q.M. Alternative concession model for build operate transfer contract projects // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2002. – No. 4 (128). – P. 326–330.

37. Javed A.A., Lam P.T.I., Chan A.P.C. Change negotiation in public-private partnership projects through output specifications: an experimental approach based on game theory // *Construction Management and Economic*. – 2014. – No. 4 (32). – P. 323–348.

38. Li Y., Wang X., Wang Y. Using bargaining game theory for risk allocation of public-private partnership projects: insights from different alternating offer sequences of participants // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2017. – No. 3 (143). – P. 04016102.

39. A game theory approach for the renegotiation of Public-Private Partnership projects in Chinese environmental and urban governance industry / Q. Liang [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – No. (238). – P. 117952.

40. Shang L., Abdel Aziz A.M. Stackelberg game theory-based optimization model for design of payment mechanism in performance-based PPPs // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2020. – No. 4 (146). – P. 04020029.

41. Gao L., Zhao Z.-Y. The evolutionary game of stakeholders' coordination mechanism of new energy power construction PPP project: a China case // *Sustainability*. – 2020. – No. 3 (12). – P. 1045.

42. Governing government-project owner relationships in water megaprojects: a concession game analysis on allocation of control rights / T. Ma [et al.] // *Water Resources Management*. – 2020. – No. 13 (34). – P. 4003–4018.

43. Kapliński O., Tamošaitienė J. Game theory applications in construction engineering and management // *Technological and Economic Development of Economy*. – 2010. – No. 2 (16). – P. 348–363.

44. Angelou G.N., Economides A.A. A multi-criteria game theory and real-options model for irreversible ICT investment decisions // *Telecommunications Policy*. – 2009. – No. 10–11 (33). – P. 686–705.

45. Bočková K.H., Sláviková G., Gabrhel J. Game theory as a tool of project management // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2015. – Vol. 213. – P. 709–715.

46. Butterfield J., Pendegrift N. Analyzing information system investments: a game-theoretic approach // *Information Systems Management*. – 2001. – No. 3 (18). – P. 73–82.

47. Kembłowski M.W., Grzyl B., Siemaszko A. Game theory analysis of bidding for a construction contract // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2017. – Vol. 245. – P. 062047.

48. Bakshi T., Sarkar B., Sanyal S.K. A new soft-computing based framework for project management using game theory // *Proceedings of 2012 International Conference on Communications, Devices and Intelligent Systems (CODIS), 28-29 December 2012, Kolkata, India*. – IEEE, 2012. – P. 282–285. DOI: 10.1109/CODIS.2012.6422193

49. Enhancing risk management by partnering in international EPC projects: perspective from evolutionary game in Chinese Construction Companies / Y. Yang [et al.] // *Sustainability*. – 2019. – No. 19 (11). – P. 5332.

50. Fahimullah M., Faheem Y., Ahmad N. Collaboration formation and profit sharing between software development firms: a shapley value based cooperative game // *IEEE Access*. – 2019. – Vol. 7. – P. 42859–42873.

51. Meta-modeling of complexity-uncertainty-performance triad in construction projects / I. Dikmen [et al] // *Engineering Management Journal*. – 2021. – No. 1 (33). – P. 30–44.

52. Sacks R., Harel M. An economic game theory model of subcontractor resource allocation behaviour // *Construction Management and Economics*. – 2006. – No. 8 (24). – P. 869–881.

53. Barough A.S., Shoubi M.V., Skardi M.J. E. Application of game theory approach in solving the construction project conflicts // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2012. – Vol. 58. – P. 1586–1593.

54. Lippman S.A., McCardle K.F., Tang C.S. Using Nash bargaining to design project management contracts under cost uncertainty // *International Journal of Production Economics*. – 2013. – No. 1 (145). – P. 199–207.

55. Asgari S., Afshar A., Madani K. Cooperative game theoretic framework for joint resource management in construction // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2014. – No. 3 (140). – P. 04013066.

56. San Cristobal J.R. The use of game theory to solve conflicts in the project management and construction industry // *International Journal of Information Systems and Project Management*. – 2015. – Vol. 3, no. 2. – P. 43–58.

57. San Cristobal J.R. Cost allocation between activities that have caused delays in a project using game theory // *Procedia Technology*. – 2014. – Vol. 16. – P. 1017–1026.

58. Two approaches to the problem of sharing delay costs in joint projects / R. Brânzei [et al] // *Annals of Operations Research*. – 2002. – No. 1/4 (109). – P. 359–374.

59. Bergantiños G., Sánchez E. How to distribute costs associated with a delayed project // *Annals of Operations Research*. – 2002. – No. 1/4 (109). – P. 159–174.

60. Bergantiños G., Sánchez E. NTU PERT games // *Operations Research Letters*. – 2002. – No. 2 (30). – P. 130–140.

61. Estévez-Fernández A., Borm P., Hamers H. Project games // *International Journal of Game Theory*. – 2007. – No. 2 (36). – P. 149–176.

62. Estévez-Fernández A. A game theoretical approach to sharing penalties and rewards in projects // *European Journal of Operational Research*. – 2012. – No. 3 (216). – P. 647–657.

63. Lagesse B. A game-theoretical model for task assignment in project management // *Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology*, 21–23 June 2006, Singapore. – IEEE, 2006. – P. 678–680. DOI: 10.1109/ICMIT.2006.262305

64. Chen B., Hall N.G. Incentive schemes for resolving Parkinson's Law in project management // *European Journal of Operational Research*. – 2021. – No. 2 (288). – P. 666–681.

65. Peldschus F. Economical analysis of project management under consideration of multi-criteria decisions // *Technological and Economic Development of Economy*. – 2006. – No. 3 (12). – P. 169–170.

66. Peldschus F., Zavadskas E.K. Fuzzy matrix games multi-criteria model for decision-making in engineering // *Informatica*. – 2005. – No. 1 (16). – P. 107–120.

67. IT project team management based on a network-centric model / M.V. Bolsunovskaya, S.V. Shirokova; A.V. Loginova; A.M. Gintciak // *Proceedings of 2018 XVII Russian Scientific and Practical Conference on Planning and Teaching Engineering Staff for the Industrial and Economic Complex of the Region (PTES)*, 14–15 November 2018, St. Petersburg, Russia. – IEEE, 2018. – P. 165–168. DOI: 10.1109/PTES.2018.8604232

68. Wright J.R., Leyton-Brown K. Predicting human behavior in unrepeated, simultaneous-move games // *Games and Economic Behavior*. – 2017. – Vol. 106. – P. 16–37.

69. Dynamics and coalitions in sequential games / T. Brihaye [et al] // *Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science*. – 2017. – Vol. 256. – P. 136–150.

70. Brânzei R., Dimitrov D., Tijs S. Models in cooperative game theory: crisp, fuzzy, and multi-choice games. – Berlin; New York: Springer, 2008. – 135 p.

71. Pang J.-S., Sen S., Shanbhag U.V. Two-stage non-cooperative games with risk-averse players // *Mathematical Programming*. – 2017. – No. 1 (165). – P. 235–290.

72. Coalition structure generation in cooperative games with compact representations / S. Ueda [et al] // *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. – 2018. – No. 4 (32). – P. 503–533.

73. Bailey J.P., Piliouras G. Multiplicative weights update in zero-sum games // *Proceedings of the 2018 ACM Conference on Economics and Computation (ACM EC'18)*, 18–22 June 2018, Ithaca, USA / Association for Computing Machinery, 2018. – P. 321–338. DOI: 10.1145/3219166.3219235

## References

1. Osborne M.J. An introduction to game theory. New York: Oxford University Press, 2004.

2. J. Von Neumann. O. Morgenstern, *Theory of games and economic behavior*, 60th anniversary ed. Princeton, N.J.; Woodstock: Princeton University Press, 2007.

3. Chica M. [et al.] A Networked-Player Trust Game and Its Evolutionary Dynamics, *IEEE Trans. Evol. Computat.*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 866-878.

4. Bhogal M.S., Galbraith N., Manktelow K. Physical Attractiveness, Altruism and Cooperation in an Ultimatum Game, *Curr Psychol*, 2017, vol. 36, no. 3, pp. 549-555.

5. Piraveenan M. [et al.] Optimal governance and implementation of vaccination programmes to contain the COVID-19 pandemic, *R. Soc. open sci.*, 2021, vol. 8, no. 6, pp. 210429.

6. Yang L., Zhang Q., Ji J. Pricing and carbon emission reduction decisions in supply chains with vertical and horizontal cooperation, *International Journal of Production Economics*, 2017, vol. 191, pp. 286–297.
7. Wang W. [et al.] A Survey on Consensus Mechanisms and Mining Strategy Management in Blockchain Networks, *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 22328-22370.
8. Papanastasiou Y., Savva N. Dynamic Pricing in the Presence of Social Learning and Strategic Consumers, *Management Science*, 2017, vol. 63, no. 4, pp. 919-939.
9. Hafezalkotob A. Competition, cooperation, and cooptation of green supply chains under regulations on energy saving levels, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2017, vol. 97, pp. 228-250.
10. Arslan B. The interplay of competitive and cooperative behavior and differential benefits in alliances, *Strat Mgmt J*, 2018, vol. 39, no. 12, pp. 3222-3246.
11. Rasmusen E. Games and information: an introduction to game theory, 4th ed. Malden, MA ; Oxford: Blackwell Pub, 2007.
12. Tsvetkova N., Tukkell I. Specifics of multi-project management: interaction and resources constraints, *SHS Web Conf.*, 2017, vol. 35, pp. 01056.
13. López-Robles J.R. [et al.] 30 years of intelligence models in management and business: A bibliometric review, *International Journal of Information Management*, 2019, vol. 48, pp. 22-38.
14. Piraveenan M. Applications of Game Theory in Project Management: A Structured Review and Analysis, *Mathematics*, 2019, vol. 7, no. 9, pp. 858.
15. Ahmed M.O. [et al.] Construction Bidding and the Winners Curse: Game Theory Approach, *J. Constr. Eng. Manage.*, 2016, vol. 142, no. 2, pp. 04015076.
16. Xu J., Zhao S. Noncooperative Game-Based Equilibrium Strategy to Address the Conflict between a Construction Company and Selected Suppliers, *J. Constr. Eng. Manage.*, 2017, vol. 143, no. 8, pp. 04017051.
17. Khanzadi M., Eshtehardian E., Chalekaee A. A game theory approach for optimum strategy of the owner and contractor in delayed projects, *Journal of Civil Engineering and Management*, 2016, vol. 22, no. 8, pp. 1066-1077.
18. Akhbari M. Contractors Partnership in Project Resource Management Application of Cooperative Game Theory Approach, *Scientia Iranica*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 469-480.
19. Zenkevich N.A., Sokolov Y., Fattakhova M.V. Game-Theoretic Modeling of the Project Management Contract, *Autom Remote Control*, 2020, vol. 81, no. 11, pp. 2094-2107.
20. Redko S.G., Shadrin A.D. Quality Assessment in Cyber-Physical Systems. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2020, vol. 95, pp. 124-130. DOI: 10.1007/978-3-030-34983-7\_12.

21. Muthukumar V., Sahai A. Commitment in regulatory spectrum games: Examining the first-player advantage. *2017 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*, IEEE, 2017, pp. 2498-2502, DOI: 10.1109/ISIT.2017.8006979.

22. Lan Y., Li Y., Papier F. Competition and coordination in a three-tier supply chain with differentiated channels, *European Journal of Operational Research*, 2018, vol. 269, no. 3, pp. 870-882.

23. Grigorian T.G. [et al.] A General Game-Theoretic Approach to Harmonization the Values of Project Stakeholders, *Advances in Intelligent Systems and Computing II*, 2018, vol. 689, pp. 146-165.

24. Lin X. [et al.] Revenue sharing for resource reallocation among project activity contractors, *Ann Oper Res*, 2021, vol. 301, no. 1-2, pp. 121-141.

25. Pishdad-Bozorgi P., Srivastava D. Assessment of Integrated Project Delivery (IPD) Risk and Reward Sharing Strategies from the Standpoint of Collaboration: A Game Theory Approach. *Construction Research Congress 2018*, [2-4April, 2018, New Orleans, Louisiana, USA], American Society of Civil Engineers, 2018, pp. 196-206.

26. Bolsunovskaya M.V., Gintciak A.M., Yudina I.V., Kozlovskii P.S. Comparative Analysis of Approaches to the Specialists' Competences. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 2019, vol. 298, pp. 84-87. DOI: 10.2991/essd-19.2019.18.

27. De Clerck D., Demeulemeester E. Creating a More Competitive PPP Procurement Market: Game Theoretical Analysis, *J. Manage. Eng.*, 2016, vol. 32, no. 6, pp. 04016015.

28. Wang Y., Gao H.O., Liu J. Incentive game of investor speculation in PPP highway projects based on the government minimum revenue guarantee, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2019, vol. 125, pp. 20-34.

29. Detter G. [et al.] The concept of "Smart City": specific nature of innovative development of Russian Arctic cities, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2021, vol. 816, no. 1, pp. 012018.

30. Muegge S.M. A game theory perspective on product development project charters: the project manager – project sponsor relationship as an iterated Prisoners Dilemma, *IJPOM*, 2017, vol. 9, no. 1, pp. 57.

31. Karabiyik T., Jaiswal A., Thomas P., Magana A.J. Understanding the Interactions between the Scrum Master and the Development Team: A Game-Theoretic Approach. *Mathematics*, 2020, no. 9 (8), art. 1553. DOI: 10.3390/math8091553.

32. Gintciak A.M., Bolsunovskaya M.V., Redko S.G. Comparative analysis of approaches to the employees' distribution among the organization's projects. *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019*. Granada, 2019, pp. 4690-4694.

33. Quyet T.H., Trinh N.B., Nguyen T.X. Nash Equilibrium Model for Conflicts in Project Management, *Journal of Computer Science and Cybernetics*, 2019, vol. 35, no. 2, pp. 167-184.

34. Medda F. A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships, *International Journal of Project Management*, 2007, vol. 25, no. 3, pp. 213-218.

35. Shen L.Y. [et al.] Using Bargaining-Game Theory for Negotiating Concession Period for BOT-Type Contract, *J. Constr. Eng. Manage.*, 2007, vol. 133, no. 5, pp. 385-392.

36. Shen L.Y., Li H., Li Q.M. Alternative Concession Model for Build Operate Transfer Contract Projects, *J. Constr. Eng. Manage.*, 2002, vol. 128, no. 4, pp. 326-330.

37. Javed A.A., Lam P.T.I., Chan A.P.C. Change negotiation in public-private partnership projects through output specifications: an experimental approach based on game theory, *Construction Management and Economics*, 2014, vol. 32, no. 4, pp. 323-348.

38. Li Y., Wang X., Wang Y. Using Bargaining Game Theory for Risk Allocation of Public-Private Partnership Projects: Insights from Different Alternating Offer Sequences of Participants, *J. Constr. Eng. Manage.*, 2017, vol. 143, no. 3, pp. 04016102.

39. Liang Q. [et al.] A game theory approach for the renegotiation of Public-Private Partnership projects in Chinese environmental and urban governance industry, *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 238, pp. 117952.

40. Shang L., Abdel Aziz A.M. Stackelberg Game Theory-Based Optimization Model for Design of Payment Mechanism in Performance-Based PPPs, *J. Constr. Eng. Manage.*, 2020, vol. 146, no. 4, pp. 04020029.

41. Gao L., Zhao Z.-Y. The Evolutionary Game of Stakeholders Coordination Mechanism of New Energy Power Construction PPP Project: A China Case, *Sustainability*, 2020, vol. 12, no. 3, pp. 1045.

42. Ma T. [et al.] Governing Government-Project Owner Relationships in Water Megaprojects: A Concession Game Analysis on Allocation of Control Rights, *Water Resour Manage.*, 2020, vol. 34, no. 13, pp. 4003-4018.

43. Kapliński O., Tamošaitienė J. Game theory applications in construction engineering and management, *Technological and Economic Development of Economy*, 2010, vol. 16, no. 2, pp. 348-363.

44. Angelou G.N., Economides A.A. A multi-criteria game theory and real-options model for irreversible ICT investment decisions, *Telecommunications Policy*, 2009, vol. 33, no. 10–11, pp. 686-705.

45. Bočková K.H., Sláviková G., Gabrhel J. Game Theory as a Tool of Project Management, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2015, vol. 213, pp. 709-715.

46. Butterfield J., Pendegraft N. Analyzing Information System Investments: A Game-Theoretic Approach, *Information Systems Management*, 2001, vol. 18, no. 3, pp. 73-82.

47. Kembłowski M.W., Grzyl B., Siemaszko A. Game Theory Analysis of Bidding for A Construction Contract, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2017, vol. 245, p. 062047.

48. Bakshi T., Sarkar B., Sanyal S.K. A new soft-computing based framework for project management using game theory. *2012 International Conference on Communications, Devices and Intelligent Systems (CODIS)*. IEEE, 2012, pp. 282-285. DOI: 10.1109/CODIS.2012.6422193.

49. Yang Y. [et al.] Enhancing Risk Management by Partnering in International EPC Projects: Perspective from Evolutionary Game in Chinese Construction Companies, *Sustainability*, 2019, vol. 11, no. 19, pp. 5332.

50. Fahimullah M., Faheem Y., Ahmad N. Collaboration Formation and Profit Sharing Between Software Development Firms: A Shapley Value Based Cooperative Game, *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 42859-42873.

51. Dikmen I. [et al.] Meta-Modeling of Complexity-Uncertainty-Performance Triad in Construction Projects, *Engineering Management Journal*, 2021, vol. 33, no. 1, pp. 30-44.

52. Sacks R., Harel M. An economic game theory model of subcontractor resource allocation behaviour, *Construction Management and Economics*, 2006, vol. 24, no. 8, pp. 869-881.

53. Barough A.S., Shoubi M.V., Skardi M.J.E. Application of Game Theory Approach in Solving the Construction Project Conflicts, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2012, vol. 58, pp. 1586-1593.

54. Lippman S.A., McCardle K.F., Tang C.S. Using Nash bargaining to design project management contracts under cost uncertainty, *International Journal of Production Economics*, 2013, vol. 145, no. 1, pp. 199-207.

55. Asgari S., Afshar A., Madani K. Cooperative Game Theoretic Framework for Joint Resource Management in Construction, *J. Constr. Eng. Manage.*, 2014, vol. 140, no. 3, pp. 04013066.

56. San Cristobal J.R. The use of Game Theory to solve conflicts in the project management and construction industry. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 2015, vol. 3, no. 2, pp. 43-58.

57. San Cristobal J.R. Cost Allocation between Activities that have Caused Delays in a Project Using Game Theory, *Procedia Technology*, 2014, vol. 16, pp. 1017-1026.

58. Brânzei R. [et al.] Two Approaches to the Problem of Sharing Delay Costs in Joint Projects, *Annals of Operations Research*, 2002, vol. 109, no. 1/4, pp. 359-374.

59. Bergantiños G., Sánchez E. How to Distribute Costs Associated with a Delayed Project, *Annals of Operations Research*, 2002, vol. 109, no. 1, pp. 159-174.

60. Bergantiños G., Sánchez E. NTU PERT games, *Operations Research Letters*, 2002, vol. 30, no. 2, pp. 130-140.

61. Estévez-Fernández A., Borm P., Hamers H. Project games, *Int J Game Theory*, 2007, vol. 36, no. 2, pp. 149-176.

62. Estévez-Fernández A. A game theoretical approach to sharing penalties and rewards in projects, *European Journal of Operational Research*, 2012, vol. 216, no. 3, pp. 647-657.

63. Lagesse B. A Game-Theoretical Model for Task Assignment in Project Management. *2006 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology*. IEEE, 2006, pp. 678-680. DOI: 10.1109/ICMIT.2006.262305.

64. Chen B., Hall N.G. Incentive schemes for resolving Parkinsons Law in project management, *European Journal of Operational Research*, 2021, vol. 288, no. 2, pp. 666-681.

65. Peldschus F. Economical analysis of project management under consideration of multi-criteria decisions, *Technological and Economic Development of Economy*, 2006, vol. 12, no. 3, pp. 169-170.

66. Peldschus F., Zavadskas E.K. Fuzzy Matrix Games Multi-Criteria Model for Decision-Making in Engineering, *Informatica*, 2005, vol. 16, no. 1, pp. 107-120.

67. Bolsunovskaya M.V., Shirokova S.V., Loginova A.V., Gintciak A.M. IT Project Team Management based on a Network-Centric Model. *2018 XVII Russian Scientific and Practical Conference on Planning and Teaching Engineering Staff for the Industrial and Economic Complex of the Region (PTES)*. IEEE, 2018, pp. 165-168. DOI: 10.1109/PTES.2018.8604232.

68. Wright J.R., Leyton-Brown K. Predicting human behavior in unrepeated, simultaneous-move games, *Games and Economic Behavior*, 2017, vol. 106, pp. 16-37.

69. Brihaye T. [et al.] Dynamics and Coalitions in Sequential Games, *Electron. Proc. Theor. Comput. Sci.*, 2017, vol. 256, pp. 136-150.

70. Brânzei R., Dimitrov D., Tijs S. Models in cooperative game theory: crisp, fuzzy, and multi-choice games. Berlin; New York: Springer, 2008.

71. Pang J.-S., Sen S., Shanbhag U.V. Two-stage non-cooperative games with risk-averse players, *Math. Program.*, 2017, vol. 165, no. 1, pp. 235-290.

72. Ueda S. [et al.] Coalition structure generation in cooperative games with compact representations, *Auton Agent Multi-Agent Syst*, 2018, vol. 32, no. 4, pp. 503-533.

73. Bailey J.P., Piliouras G. Multiplicative Weights Update in Zero-Sum Games. *2018 ACM Conference on Economics and Computation (ACM EC'18)*, ACM, 2018, pp. 321-338. DOI: 10.1145/3219166.3219235.

Статья получена: 30.08.2021

Статья принята: 16.09.2021

### Сведения об авторе

**Гинцяк Алексей Михайлович** (Санкт-Петербург, Россия) – ассистент, Высшая школа киберфизических систем и управления Института компьютерных наук и технологий; научный сотрудник лаборатории «Промышленные системы потоковой обработки данных», Центр национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: gintsyak\_am@spbstu.ru).

### About the author

**Aleksei M. Gintciak** (Saint-Petersburg, Russian Federation) – Teaching Assistant, Graduate School of Cyber-Physical Systems and Control of Institute of Computer Science and Technology; Researcher, Laboratory of Industrial Systems for Streaming Data Processing Center of National Technological Initiative “New Industrial Technologies”, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University (29, Polytechnicheskaya st., Saint-Petersburg, 195251, e-mail: gintsyak\_am@spbstu.ru).

### Библиографическое описание статьи согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018:

**Гинцяк, А.М.** Классификация теоретико-игровых моделей в управлении проектами: литературный обзор / А.М. Гинцяк. – текст : непосредственный. – DOI: 10.15593/2499-9873/2021.3.07 // Прикладная математика и вопросы управления = Applied Mathematics and Control Sciences. – 2021. – № 3. – С. 130–153.

### Цитирование статьи в изданиях РИНЦ:

Гинцяк А.М. Классификация теоретико-игровых моделей в управлении проектами: литературный обзор // Прикладная математика и вопросы управления. – 2021. – № 3. – С. 130–153. DOI: 10.15593/2499-9873/2021.3.07

### Цитирование статьи в references и международных изданиях

#### Cite this article as:

Gintciak A.M. Classification of the game theory models in project management: literature review. *Applied Mathematics and Control Sciences*, 2021, no. 3, pp. 130–153. DOI: 10.15593/2499-9873/2021.3.07