

doi:10.18720/SPBPU/2/id19-21

Луценко М. М., Чепаченко Н. В., Демин А. М.

КООПЕРАТИВНЫЕ ИГРЫ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЭКОНОМИКИ СТРОИТЕЛЬСТВА

*Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Исследован потенциал использования аппарата теории кооперативных игр в решении экономических задач в строительной сфере, связанных с распределением риска между участниками строительства. Определены возможности использования количественных измерений, снижающих риски в решении экономических задач в строительной сфере на основе применения теории кооперативных игр. Предложена структуризация задач дележа, к которым применимы теоретико-игровые модели кооперативной теории игр. Рассмотрены модели распределения общего дохода между игроками с учетом организационной иерархии, определяющей условия распределения риска.

Ключевые слова: риски, теория игр, кооперативные игры, дележи, вектор Шепли, экономика строительства.

Lutsenko M. M., Chepachenko N. V., Demin A. M.

COOPERATIVE GAMES IN THE SOLUTION OF THE PROBLEMS OF THE CONSTRUCTION ECONOMICS

*Petersburg State Transport University Emperor Alexander I,
St. Petersburg, Russia*

Abstract. The potential of using the apparatus of the theory of cooperative games in solving economic problems in the construction industry related to the distribution of risk among participants in construction has been investigated. The possibilities of using quantitative measurements that reduce risks in solving economic problems in the construction sector based on the application of the theory of cooperative

games are determined. Structurization of sharing problems is proposed, to which game-theoretic models of the cooperative game theory are applicable. The models of distribution of total income between players are considered, taking into account the organizational hierarchy defining the conditions of risk distribution.

Keywords: risks, game theory, cooperative games, dividers, Shapley value, construction economics.

Современной экономике, в том числе экономике в строительной сфере, присущи процессы конкуренции, неопределенности и случайности, противоречивости, конфликтности и неполной информации, которые порождают разные риски. В этой связи важная роль в решении многих проблем прикладного характера в экономике хозяйствующих субъектов, в том числе в решении экономических задач в строительной сфере, отводится успешному применению аппарата теории игр.

Исследуя возможности и значимость использования количественных измерений, снижающих риски в решении экономических задач в строительной сфере на основе применения теории игр, в том числе теории кооперативных игр, важно понимать значимость роли целевой направленности теории игр в решении экономических проблем еще на начальном этапе ее формирования, представленной в первом издании классической монографии Дж. Фон Неймана и О. Моргенштерна «Теория игр и экономическое поведение» в 1943 году. В последующем на это обращал внимание Н. Н. Воробьев, написавший добавление «Развитие теории игр» к русскому изданию монографии [1], отметив, что, начиная с 30-х годов прошлого столетия, теория игр стала разрабатываться фон Нейманом и О. Моргенштерном как математический аппарат для описания и анализа экономических явлений.

Современные зарубежные исследователи [2,3] констатируют, что по мере развития теории игр активно продолжался процесс превращения ее в стандартный инструмент экономической науки. В последующем возросло влияние теории игр и на многие другие направления за пределами экономической теории, в ре-

зультате чего теория игр стала стандартным инструментом не только в экономике, но и в политической науке, в области права и философии, в социальных и биологических науках и в других направлениях [4, с. 108-109]. Это актуализирует поиск решения прикладных экономических и управленческих проблем с применением теоретико-игровых моделей кооперативной теории игр применительно к деятельности хозяйствующих субъектов, в том числе занятых в строительной сфере.

В кооперативной теории игр (в отличие от некооперативной) игроки могут формировать коалиции и ключевой проблемой является поиск решения того, может ли набор этих игроков найти приемлемое и обязательное для всех их распределение выигрышей, доступное коалиции и позволяющее всем игрокам получить выгоду от ее формирования. При этом исследователи [3,5] обращают внимание на тот факт, что несмотря на доминирование кооперативной версии теории игр еще на первых этапах развития теории игр и в ходе последующей ее эволюции [6-8], важно понять, как должны формироваться коалиции игроков и что разработка адекватной модели формирования коалиций остается одной из важнейших нерешенных проблем в теории игр.

В последние годы заметно активизировались исследования по применению аппарата теории кооперативных игр со стороны российских исследователей [9,10] в решении вопросов образования государственно-частного партнерства. Результаты исследований позволяет обосновать выгоду объединения частного бизнеса и государства для осуществления масштабных инфраструктурных инвестиционно-строительных проектов.

Другими возможными областями применения аппарата теории кооперативных игр в решении задач экономики и управления в строительной сфере, связанных с распределением риска между участниками строительства, нами рассматривается выявленные в ходе исследования ключевые направления, позволившие предложить структуризацию актуальных объектов (задач) для поиска рационального перераспределения (дележа) выигрышей между участниками коалиции с применением теоретико-игровых моде-

лей кооперативной теории игр. В составе рекомендуемой структуры туризации объектов (задач) дележа выигрышей могут рассматриваться:

- доли инвестиций со стороны государства, инвесторов и застройщиков, подлежащие размещению в инфраструктуру (в коммуникации, электрические сети, дороги) на стадиях строительства и эксплуатации объектов промышленно-гражданского и дорожного строительства;

- трудовые, материально-технические и финансовые ресурсы, подлежащие распределению между разными инвестиционно-строительными проектами, видами деятельности строительных организаций, их производственными подразделениями и видами строительно-монтажных работ;

- пакет акций (их количество, размер, стоимость), которые могут быть разделены между акционерами в деятельности акционерных обществ;

- доля участия акционеров в капитале (для обществ с ограниченной ответственностью) с учетом изменения рыночной стоимости акций и иных факторов;

- ожидаемые доходы участников коалиции строительного бизнеса, обусловленные изменениями оценки рыночной стоимости строительного бизнеса, как наиболее вероятной цены, по которой объект оценки может быть отчужден на строительном рынке в ситуации и на условиях конкуренции на этом рынке;

- сметные (фактические) затраты по прокладке коммуникаций общего пользования (сетей водоснабжения, канализации, электроэнергии, газопровода) при строительстве дорог, промышленных, культурно-бытовых и жилых объектов, подлежащие распределению между застройщиками и администрацией района (города);

- капитальные затраты (доля ожидаемой прибыли), подлежащие распределению между участниками коалиции (инвесторами, заказчиками-застройщиками, администрацией города, коммерческим банком, региональным инвестиционным фондом и страховой компанией) при реализации инвестиционно-строитель-

ного проекта в сфере промышленно-гражданского и дорожного строительства;

– доля сегмента на первичном рынке жилищного строительства на стадиях проектирования, строительства и продажи жилых домов (долевая ниша комнат студий, однокомнатных, двухкомнатных и трехкомнатных квартир в жилом доме; долевая ниша жилых домов в сборно-монолитном, блочном, панельном и кирпичном исполнении; долевая ниша квартир эконом-класса, бизнес-класса, элитного класса и комфорт-класса), соответствующая потенциалу формируемого равновесия спроса и предложения на первичном рынке жилья в регионе;

– доля внутрифирменного бюджета строительной организации, подлежащего рациональному распределению между ее структурными подразделениями, отделами и службами, видами деятельности и проектами;

– доля портфеля формируемых заказов со стороны заказчиков-застройщиков, подлежащая распределению между генподрядными, генсубподрядными и подрядными строительными организациями;

– доля строительного рынка, занимаемого конкурентами в ситуации ценовой конкуренции, когда на рынке действуют два и более конкурента, использующие некий набор своих стратегий и принципов, позволяющих превратить своего конкурента в партнера, предпочитая тем самым стратегию сотрудничества на рынке, а не стратегию ценовой войны между собой;

– доля портфельных инвестиций на финансовом рынке, представленных разными финансовыми инструментами (акциями, государственными и корпоративными облигациями), подлежащие распределению между крупными строительными и иными корпорациями, финансовыми институтами и физическими лицами с учетом особенности состава формируемых коалиций по типам инвесторов (агрессивных, консервативных, умеренных) и выбором ими инвестиционной политики, состава ценных бумаг, их количества, отраслевых индексов биржи и критериев оценки (ожидаемой ликвидности, курсовой доходности и риска), позво-

ля инвесторам достигать поставленные цели и обеспечивая рациональное сочетание ожидаемой доходности и риска;

доля отечественного экспорта строительных услуг, приходящегося на международные трансакции со стороны подрядных, проектных и инжиниринговых фирм, выполняющих работы за пределами страны регистрации через международные финансовые агентства (Международный банк реконструкции и развития, Европейский и Азиатский банки реконструкции и развития, а также национальные фонды, финансирующие строительные проекты в отдельных регионах), позволяющая получать российскому строительному бизнесу устойчивые позиции на международном строительном рынке (до последнего времени сектор рынка международных строительных услуг освоен отечественным бизнесом крайне слабо);

уровень (доля) инвестиционно-строительных рисков, подлежащие снижению за счет перераспределения их между инвесторами, заказчиками-застройщиками, подрядчиками, администрациями городов и поселений, следуя принципу «справедливого распределения рисков», обеспечивающего передачу каждого идентифицируемого риска той стороне, которая имеет ресурсы для нейтрализации рисков.

Всякая успешная деятельность строительных предприятий и организаций начинается с продуманной кооперации участников строительства и возможным распределением риска между ними. Кооперация будет устойчива тогда, все участники согласны с принципами распределения их общего дохода (платежа) и понимают, как и что они получают и какой ценой окажется их плата за риск. В настоящее время основным принципом распределения доходов (платежей) является принцип «равенство»: одинаковые участники кооперации должны получать равные доли общего дохода [11]. Несмотря на универсальность этого принципа, он может приводить к совершенно неожиданным результатам в тех случаях, когда участники имеют разный экономический или организационный «вес». Рассмотрим в этой связи два примера, в которых разное зависимое положение одних участников относительно

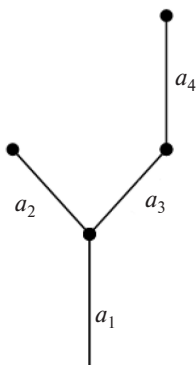
других приводит к существенно неравномерному распределению доходов (платежей).

В основе рассматриваемых моделей лежит кооперативная теория игр и методы (принципы) построения дележей.

Кооперативная игра – упорядоченная пара: $\Gamma = \langle N, v \rangle$, в которой $N = \{1, 2, \dots, n\}$ – множество игроков, а v – характеристическая функция, которая ставит каждой коалиции K (подмножеству игроков, $K \subseteq N$) тот выигрыш, который они могли бы получить, создав коалицию K . Значение характеристической функции $v(K)$ можно также интерпретировать как платеж, который должна выполнить коалиция K , если она будет создана [12]. Определим те условия, при которых все игроки объединятся в большую коалицию N . Если они договорятся, то как они поделят общий выигрыш (платеж) $v(N)$.

Под дележом игры $\Gamma = \langle N, v \rangle$ мы понимаем упорядоченный набор чисел $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, в котором компонента x_i – доля выигрыша, которую получит игрок i в соответствии с дележом x . Мы считаем, что все дележи коллективно рациональны, то есть сумма всех компонент каждого дележа равна $v(N)$. Последовательное проведение принципов: равным игрокам равный выигрыш и получает больше тот, кто больше вносит в коалицию, приводит к дележу «справедливому» по Шепли или вектору Шепли.

В следующих примерах игроки должны разделить общий доход (платеж), с учетом организационной иерархии.



Пример 1. Предположим, что в предприятие входят четыре подразделения, имеющих разную степень самостоятельности. Каждое подразделение вносит свой вклад в общий доход предприятия, однако, для правильной работы подчиненных подразделений необходимо разрешение всех их руководителей. Обозначим через a_i тот вклад, который вносит подразделение i после получения разрешения руководителей. В частности, игроки 2 и 4 вносят (зарабатывают) a_2 и a_4 независимо от

оставшихся подразделений. Подразделение 3 может привести величину a_3 , лишь получив разрешение (вступив в коалицию) от всех своих руководителей, подразделений 2, 3, 4. Предположим, что все подразделения согласились работать вместе. Рассчитаем дележ справедливый по Шепли.

Запишем значения характеристической функции игры:

$$v_0 = 0, v_1 = v_3 = v_{1,3} = 0, v_2 = v_{1,2} = v_{2,3} = v_{1,2,3} = a_2, v_4 = v_{1,4} = a_4, \\ v_{3,4} = v_{1,3,4} = a_3 + a_4, v_{2,4} = v_{1,2,4} = a_2 + a_4, v_{2,3,4} = a_2 + a_3 + a_4, \\ v_{1,2,3,4} = a_1 + a_2 + a_3 + a_4.$$

Таким образом, игроки должны разделить заработанную ими вместе сумму: $v_{1,2,3,4} = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$. Используя результаты работы [13, 14], рассчитаем вектор Шепли. Его компоненты будут равны:

$$Sh_1 = a_1/4, Sh_2 = a_2 + a_1/4, Sh_3 = a_3/2 + a_1/4, Sh_4 = a_4 + a_3/2 + a_1/4.$$

Таким образом, подразделение 1 должно получать лишь четверть заработанной им суммы. Подразделение 2, в соответствии с согласованным принципом справедливости, получит всю заработанную им сумму и четверть суммы заработанной подразделением 1. Подразделение 3 получит половину своей заработанной суммы и четверть суммы заработанной подразделением 1. Таким образом, административная надстройка оправдывает эксплуатацию подразделения 1.

Пример 2. Группа предпринимателей из четырех человек собираются построить водопроводную (электрическую) сеть по следующей схеме. Обозначим через a_i стоимость части участка сети обеспечивающей водой (электричеством) i -го предпринимателя. Таким образом, предпринимателю 1 достаточно построить участок стоимости a_1 . Предприниматель 2 получит воду лишь тогда, когда он построит участок стоимости a_2 и подключится к уже построенному участку предпринимателя 1. Предприниматель 3 получит воду, если он построит участок стоимости a_3 и подключится к водопроводу, построенному предпринимателем 1, а предприниматель 4 получит воду, построив участок стоимостью a_4 и подключившись к предпринимателю 3. Если предприниматели согласятся построить общую сеть в соответствии с предлагаемой схемой,

то как они должны разделить платеж за строительство, используя вектор Шепли?

Запишем значения характеристической функции игры:

$$v_0 = 0, v_1 = a_1, v_2 = v_{1,2} = a_1 + a_2, v_3 = v_{1,3} = a_1 + a_3, v_{2,3} = v_{1,2,3} = a_1 + a_2 + a_3, v_4 = v_{1,4} = v_{3,4} = v_{1,3,4} = a_1 + a_3 + a_4, v_{2,4} = v_{1,2,4} = v_{2,3,4} = v_{1,2,3,4} = a_1 + a_2 + a_3 + a_4.$$

Хотя эти игры имеют различные характеристические функции, однако, они имеют одинаковые вектора Шепли [13]. Следовательно, игрок 1 должен заплатить лишь четверть стоимости первого участка, то есть $a_1/4$. Игрок 2 должен оплатить свой участок и четверть стоимости начального участка. Игрок 3 оплачивает половину стоимости своего участка и четверть стоимости первого участка. В свою очередь, игрок 4 оплачивает свой участок, половину участка игрока 3 и четверть стоимости игрока 1.

Рассмотренные примеры позволяют оценить влияние организационных факторов на распределение доходов и минимизировать, тем самым, возможные ожидаемые риски со стороны каждого участника игры. Следует также отметить, что теоретико-игровой подход применим и для решения других задач в строительной отрасли [14].

Литература

1. **Фон Нейман, Дж.** Теория игр и экономическое поведение / Дж. Фон Нейман, О. Моргенштерн; пер. с англ. под ред. и с доб. Н. Н. Воробьева. М.: Гл. редакция физ.-мат. лит.-ры, изд-ва «Наука», 1970. 708 с.
2. **Fudenberg D.** Whither game theory? Towards a theory of learning in games / D. Fudenberg, D. K. Levine // *Journal of Economic Perspectives*. 2016. Vol. 30. №. 4. P. 151–170.
3. **Samuelson L.** Game theory in economics and beyond / L. Samuelson // *Journal of Economic Perspectives*. 2016. Vol. 30. №. 4. P. 107–130.
4. **Самуэльсон Л.** Теория игр в экономической науке и не только / Л. Самуэльсон // *Вопросы экономики*. 2017. № 5. С. 89–115.
5. **Мулен Э.** Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели / Э. Мулен. М.: Мир. 1991. 464 с.
6. **Debreu G.** A limit theorem on the core of an economy / G. Debreu, H. Scarf // *International Economic Review*. 1963. Vol. 4. № 3. P. 235–246.

7. **Shapley L. S.** A value of n -person games / L. S. Shapley // Contributions to the Theory of games II. Princeton: Princeton University Press, 1953.
8. **Winter E.** The Shapley value / E. Winter // Handbook of game theory with economic applications. 2002. Vol. 3. Amsterdam etc.: North-Holland.
9. **Офин В. П.** Применение теории кооперативных игр при управлении ГЧП-проектами в транспортной инфраструктуре / В. П. Офин // Вопросы экономики и права. 2017. № 12. С. 32–35.
10. **Тубина А. Л.** Применение методов теории кооперативных игр в исследовании моделей частно-государственного партнерства / А. Л. Тубина П. А. Бруссер М. Ю. Соловьева // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 5, Экономика. 2017. № 3. С. 170–180.
11. **Maschler M.** Game Theory / M. Maschler, E. Solan, S. Zamir. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 979 p.
12. Луценко М. М. Теория игр: учебное пособие / М. М. Луценко, А. М. Демин. СПб.: ПГУПС, 2018. 71 с.
13. **Луценко М. М.** Веса Шепли для заданий педагогического теста / М. М. Луценко, Н. В. Шадринцева // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2017. Т. 13. № 3. С. 300–312.
14. **Луценко М. М.** Принятие инвестиционных решений в строительстве при неполной информации о функционировании объекта / М. М. Луценко, А. М. Демин // Управление рисками в экономике: проблемы и решения. СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2015. С. 237–259.