

УДК 330.131.7

## КОМБИНИРОВАННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ И АНТАГОНИСТИЧЕСКИХ ИГР С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПРИНЦИПА СИСТЕМНОСТИ

*Сигал А. В.*

*Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация*

*E-mail: ksavo3@gmail.com*

Представлена концепция комбинированного применения статистических и антагонистических игр для принятия управленческих решений в экономике с учетом неполноты информации, неопределенности, конфликтности и экономического риска. Предложена общая схема комбинированного применения статистических и антагонистических игр. Выполнен анализ соответствия комбинированного применения статистических и антагонистических игр основным положениям принципа системности.

**Ключевые слова:** статистическая игра, антагонистическая игра, принцип системности.

### ВВЕДЕНИЕ

Экономика представляет собой динамическую, слабо структурированную сложную систему, которая состоит из многих элементов, в т. ч. из большого количества находящихся в тесном, непрерывном взаимодействии *экономических систем* (ЭС), т. е. любых агентов, занимающихся произвольной экономической деятельностью, включая домашние хозяйства, предприятия всех организационно-правовых форм, корпорации, объединения, союзы. Повышение качества принятия управленческих решений в экономике требует учета таких особенностей экономики, объективно существующих и внутренне присущих ей, как случайность, хаотичность, неполнота информации, неопределенность, конфликтность, конкуренция, противоречивость, альтернативность, многокритериальность и обусловленный ими *экономический риск* (ЭР).

Следовательно, для совершенствования управления ЭС и их эффективного функционирования необходимо в процессе принятия управленческих решений в экономике корректно применять такие экономико-математические методы и модели, которые позволяют адекватно учитывать указанные особенности экономики, прежде всего, неполноту информации, неопределенность, конфликтность и ЭР. Одним из наиболее распространенных и разработанных направлений в теории и практике управления ЭС, позволяющим учитывать неполноту информации, неопределенность, конфликтность и ЭР, считается теоретико-игровое моделирование экономики.

Теория игр и теория принятия статистических решений занимаются, в первую очередь, именно задачами анализа и принятия решений в условиях неопределенности, конфликтности и риска. В последнее время методы теории игр во все большей мере проникают в экономику и предпринимательство, в управленческую практику. В экономической теории и практике применяется много

экономико-математических моделей, представляющих собой игры самых разных классов.

Управление ЭС в условиях современной экономики требует разработки и развития досконального аппарата теории игр и статистических решений, позволяющего анализировать и моделировать процессы принятия управленческих решений в экономике с учетом неполноты информации, неопределенности, конфликтности и ЭР. Следует отметить, что инструментарий теории игр и статистических решений, традиционно применявшийся для моделирования экономики, не рассчитан на условия постоянно меняющейся среды функционирования, на последствия и особенно причины кризиса, начавшегося в мировой экономике в 2008 году, на геополитические риски, возникшие как в отечественной, так и в мировой экономике после социально-политического кризиса, начавшегося на Украине в конце 2013 года, а также на особенности нестационарной экономики, типичной для экономик всех постсоветских государств.

Внедрение новых теоретико-игровых подходов, позволяющих моделировать процессы принятия управленческих решений в экономике с учетом неполноты информации, неопределенности, конфликтности и ЭР, приводит к выбору наименее рискованных решений, что позволяет стабилизировать результаты деятельности ЭС, добиться устойчивости функционирования как отдельно взятой ЭС, так и экономики страны в целом. К новым теоретико-игровым подходам относится предлагаемая ниже концепция моделирования процесса принятия управленческих решений в экономике, основанная на комбинированном применении статистических и антагонистических игр. Основы концепции комбинированного применения статистических и антагонистических игр достаточно полно изложены в монографии [1].

Предлагаемую концепцию от других подходов, применяемых для теоретико-игрового моделирования экономики, отличают следующие особенности. Во-первых, предлагаемая концепция нацелена на принятие оптимальных решений с учетом неполноты информации, неопределенности, конфликтности и ЭР. Во-вторых, предлагается комбинированное применение статистических и антагонистических игр совместно с другими разделами математики, в частности, с энтропийным подходом, нечеткой математикой, теорией вероятностей и математической статистикой, теорией случайных процессов, прикладной статистикой и эконометрией, конкретной математикой. В-третьих, предлагается комбинированное применение статистических и антагонистических игр и в тех случаях, когда соответствующая *антагонистическая игра* (АИ) не является непосредственной моделью рассматриваемого процесса принятия управленческих решений, при этом уделяется внимание анализу и обоснованию математической корректности, экономической корректности, экономической целесообразности и экономической эффективности управленческих решений, реализуемых *лицом, принимающим решения* (ЛПР).

Суть комбинированного применения статистических и антагонистических игр заключается в отождествлении исходной статистической игры, моделирующей процесс принятия управленческих решений, с *АИ, характеризующей процесс*

принятия управленческих решений, т. е. с АИ, платежная матрица которой совпадает с функционалом оценивания исходной статистической игры.

Полнота теоретического исследования и возможность практического применения новых подходов, в т. ч. и предлагаемой концепции моделирования процесса принятия управленческих решений в экономике, основанной на комбинированном применении статистических и антагонистических игр, требуют анализа проблемы корректности этих новых подходов. В частности, для анализа теоретической корректности нового подхода целесообразно выполнить проверку соответствия нового подхода основным положениям принципа системности. **Целью** статьи является выполнение проверки соответствия комбинированного применения статистических и антагонистических игр основным положениям принципа системности.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

*Антагонистической игрой (АИ)* будем называть конечную игру  $\Gamma_{\mathbf{R}} = \langle \mathbf{I}, \mathbf{J}, \mathbf{R} \rangle$  двух лиц (игроков) с нулевой суммой, где  $\mathbf{I} = \{1; 2; \dots; i; \dots; k\}$  – множество чистых стратегий первого игрока (игрока 1),  $\mathbf{J} = \{1; 2; \dots; j; \dots; n\}$  – множество чистых стратегий второго игрока (игрока 2),  $\mathbf{R} = \mathbf{R}_{k \times n} = (r_{ij})$  – полностью или частично известная платежная матрица игры  $\Gamma_{\mathbf{R}}$ ,  $r_{ij}$  – выигрыш первого игрока в ситуации  $(i, j)$ , т. е. в случае, когда в партии игры он применил свою чистую стратегию  $i$ , а второй игрок – свою чистую стратегию  $j$ .

Значение элемента  $r_{ij}$  платежной матрицы задает выигрыш первого игрока в ситуации  $(i, j)$ , т. е. когда в партии игры он применил свою чистую стратегию  $i$ , а второй игрок – свою чистую стратегию  $j$ . В каждой партии игры значение проигрыша второго игрока совпадает со значением выигрыша первого игрока.

Игры могут быть как с полной информацией, так и с неполной информацией. В связи с этим далее будем различать две разновидности антагонистических игр: классические и неоклассические АИ.

*Классической антагонистической игрой (КАИ)* будем называть АИ  $\Gamma_{\mathbf{R}} = \langle \mathbf{I}, \mathbf{J}, \mathbf{R} \rangle$ , заданную своей полностью известной платежной матрицей  $\mathbf{R}$ . *Неоклассической антагонистической игрой (НАИ)* будем называть АИ  $\Gamma_{\mathbf{R}} = \langle \mathbf{I}, \mathbf{J}, \mathbf{R} \rangle$ , заданную своей частично известной платежной матрицей  $\mathbf{R}$ .

Частичное знание платежной матрицы НАИ означает, что среди элементов  $r_{ij}$  матрицы  $\mathbf{R}$  есть хотя бы один элемент, точное истинное значение которого неизвестно. Поэтому не для всех ситуаций  $(i, j)$ , возможных в отдельно взятой партии НАИ, известно точное истинное значение элемента  $r_{ij}$  частично известной платежной матрицы  $\mathbf{R}$ , т. е. точное истинное значение соответствующего выигрыша первого (проигрыша второго) игрока.

Основные положения теории матричных игр (собственно, теории КАИ) практически полностью были изложены уже в основополагающей монографии Дж. фон Неймана, О. Моргенштерна [2]. Кроме того, эта теория достаточно полно и

детально изложена, например, в учебниках Н. Н. Воробьева [3, 4], а также в классических монографиях С. Карлина [5], Р. Д. Льюса, Х. Райфы [6].

В статистических играх один из игроков (как правило, первый) осознанно выбирает, какую именно свою стратегию ему применять, т. е. первый игрок является ЛПР. Вторым же игроком является так называемой «природой» (т. е. экономической средой), главной особенностью которой считается то, что «природа» не выбирает осознанно, а случайным образом оказывается в одном из своих возможных состояний. Как и для АИ, ограничимся рассмотрением конечных статистических игр. *Статистической игрой* называют систему (упорядоченную тройку)  $\Gamma_{\mathbf{R}} = \langle \mathbf{I}, \mathbf{J}, \mathbf{R} \rangle$ , где  $\mathbf{I} = \{1; 2; \dots; i; \dots; k\}$  – известное множество всех чистых стратегий первого игрока, занумерованных натуральными числами от 1 до  $k$ ,  $\mathbf{J} = \{1; 2; \dots; j; \dots; n\}$  – известное множество всех чистых стратегий второго игрока, занумерованных натуральными числами от 1 до  $n$ ,  $\mathbf{R} = \mathbf{R}_{k \times n} = (r_{ij})$  – полностью или частично известная платежная матрица (функционал оценивания) статистической игры, при этом первый игрок – это статистик (ЛПР), который активно и осмысленно выбирает свои стратегии, а второй игрок – это «природа» (экономическая среда), которая пассивно выбирает свои чистые стратегии, т. е. случайно и неосознанно оказывается в одном со своих возможных состояний.

Перечислим основные особенности статистических игр, отличающие их от АИ:

1. один из игроков (согласно договоренности, второй игрок) является «природой», которую нельзя рассматривать как разумного противника, интересы которого, например, противоположны интересам ЛПР;
2. множество критериев, применение которых возможно для принятия решений, определяется имеющей место информационной ситуацией;
3. статистик имеет возможность проводить испытания с целью получения дополнительной информации о неизвестном ему состоянии «природы»;
4. статистик должен выбрать решающее правило, которое дает ему возможность выбрать оптимальное решение в зависимости от результата испытания.

Если априорное распределение вероятностей состояний уже известно, то, согласно общепринятой терминологии, имеет место задача принятия решений в условиях риска. Как правило, она решается по критерию Байеса, т. е. за счет вычисления для всех альтернатив, рассматриваемых ЛПР, ожидаемого (среднего) выигрыша и выбора чистой стратегии ЛПР, обладающей наибольшим значением ожидаемого выигрыша.

С помощью проведения экспериментов можно собрать дополнительные сведения о состояниях «природы». Если априорное распределение вероятностей состояний уже известно, то в результате проведения эксперимента оно изменяется согласно формуле Байеса, причем в этом случае выбирается чистая стратегия, являющаяся наилучшей относительно нового – апостериорного – распределения вероятностей.

Если априорное распределение вероятностей состояний неизвестно и о нем нет никаких предположений, то в этом случае для решения статистической игры

принято выбирать решающее правило, т. е. правило, которое каждому возможному результату эксперимента ставит в соответствие способ действий ЛПП (его определенную стратегию).

Наконец, если проведены несколько экспериментов, то в этом случае решающее правило включает в себя еще и указание действий, которые нужно осуществить, при этом необходимо оценить последствия разных действий для каждого состояния «природы» и стоимость проведения экспериментов.

Легко заметить, что статистические и антагонистические игры имеют одну и ту же формальную структуру. Это совпадение структур и дает теоретическую и практическую возможность комбинировано применять статистические и антагонистические игры. Суть комбинированного применения статистических и антагонистических игр заключается в отождествлении исходной статистической игры с *АИ, характеризующей процесс принятия управленческих решений*, т. е. с АИ, платежная матрица которой совпадает с функционалом оценивания исходной статистической игры. В таблице 1 приведено соответствие элементов антагонистических и статистических игр.

Таблица 1

Соответствие между элементами антагонистических и статистических игр

№	Элементы АИ	Элементы статистической игры
1.	первый игрок	статистик (ЛПП)
2.	второй игрок	«природа» (экономическая среда)
3.	платежная матрица	функционал оценивания
4.	чистая стратегия первого игрока	возможное решение (альтернатива), которое статистик может применить при однократном принятии решений
5.	смешанная стратегия первого игрока	рандомизированная стратегия статистика
6.	чистая стратегия второго игрока	возможное состояние «природы»
7.	смешанная стратегия второго игрока	распределение вероятностей для состояний «природы»

Важной особенностью теории статистических решений является то, что в этой теории рассматриваются эксперименты, которые состоят из многих этапов, а не из одного этапа, когда фиксируется число наблюдений, и изучаются общие статистические проблемы, в которых статистик, т. е. ЛПП, должен принять одно из многих решений [7, с. 309].

Принятие решений в экономике отягощено противоречивостью, неопределенностью, случайностью, неполнотой информации, конфликтностью, конкуренцией, многокритериальностью, альтернативностью и обусловленным ими экономическим риском. Р. И. Трухаев подчеркивает «в процессах принятия решений имеется ряд ситуаций, обладающих той или иной степенью неопределенности и требующих для своего описания с целью получения решения

такого математического аппарата, который бы априори включал возможность появления неопределенности» [8, с. 9]. Одним из следствий объективного наличия неопределенности является то, что ЛПР имеет меньшее количество информации, чем это необходимо для целесообразной организации процесса принятия решений. Частичное снятие неопределенности может быть достигнуто, например, за счет дополнительно получаемой информации.

Д. Блекуэлл и М. А. Гиршик отмечают, что принцип гарантированного результата «определенно менее удовлетворителен в статистических играх, и в некоторых ситуациях он предписывает такой путь, который может быть признан неразумным всеми, за исключением разве самых неизлечимых пессимистов» [9, с. 127]. Это замечание абсолютно справедливо. Но, при принятии управленческих решений в экономике ЛПР вынуждено придерживаться принципа гарантированного результата не только и не столько из-за собственного пессимизма и несклонности к риску. Необходимость комбинированного применения статистических и антагонистических игр для принятия управленческих решений в экономике обусловлено не только мнением ЛПР, что ему нецелесообразно рисковать, если он придерживается этой точки зрения, но и невозможностью проведения испытаний. В этих условиях комбинированное применение статистических и антагонистических игр становится практически неизбежным и даже желательным.

Если вместо экономической среды ввести в схему статистической игры второго игрока, который осознанно преследует цели, антагонистические целям первого игрока, то получим АИ, платежная матрица которой совпадает с функционалом оценивания **R**. Для поиска оптимальной стратегии ЛПР можно решить АИ, платежная матрица которой совпадает с функционалом оценивания **R** исходной статической модели принятия решений (т. е. исходной статистической игры).

Далее будем отождествлять исходную статистическую игру с соответствующей АИ, характеризующей процесс принятия управленческих решений, т. е. с АИ, платежная матрица которой совпадает с функционалом оценивания **R** исходной статистической игры. Такое отождествление и означает комбинированное применение статистических и антагонистических игр, позволяет расширить возможности применения как статистических, так и антагонистических игр в экономике и управлении.

Если отсутствуют и «антагонизм интересов», и «антагонизм поведения» игроков, то АИ, характеризующая процесс принятия управленческих решений, не является непосредственной моделью этого процесса. Но и в таких случаях такая АИ характеризует процесс принятия управленческих решений, при этом, очевидно, поведение ЛПР характеризуется предельной осторожностью.

Отождествление исходной статистической игры с АИ, характеризующей процесс принятия управленческих решений, позволяет вести речь не о комбинированном применении статистических и антагонистических игр, а просто о применении АИ для принятия управленческих решений в экономике. Корректное применение АИ для принятия управленческих решений в экономике требует выполнения определенных предпосылок, впервые предложенных в статье [10].

Как отмечалось выше, суть комбинированного применения статистических и антагонистических игр заключается в отождествлении исходной статистической игры с АИ, характеризующей процесс принятия управленческих решений, т. е. с АИ, платежная матрица которой совпадает с функционалом оценивания исходной статистической игры. Для поиска оптимальной стратегии ЛПР можно решить АИ, характеризующую процесс принятия управленческих решений.

Отождествление статистической игры с АИ, характеризующей процесс принятия управленческих решений, позволяет применять инструментальной теории АИ для принятия решений с учетом неполноты информации, неопределенности, конфликтности и обусловленного ими ЭР. Такое отождествление позволяет выбрать одно оптимальное решение или упорядочить все имеющиеся чистые стратегии ЛПР. Более того, отождествление статистической игры с соответствующей АИ позволяет сформировать оптимальную смешанную стратегию ЛПР, если использование смешанных стратегий возможно и экономически целесообразно. Наконец, отождествление статистической игры с соответствующей АИ позволяет не проводить многошаговые эксперименты, что, в частности, позволяет ЛПР экономить ресурсы, в первую очередь, временной и финансовый. Д. Блекуэлл и М. А. Гиршик также отмечают этот факт. По их мнению, в статистических играх нужно учитывать «возможность принимать решения без испытаний, что иногда может быть желательно, когда стоимость наблюдений велика» [9, с. 105].

В случае принятия управленческих решений в экономике полноценное рассмотрение всех возможных обстоятельств реализаций всех возможных управленческих решений может оказаться невыполнимым. Во-первых, именно в силу наличия неполноты информации, неопределенности, конфликтности и обусловленного ими ЭР точное прогнозирование будущих значений всех параметров и точное предвидение будущего состояния экономической среды невозможны. Во-вторых, реальное проведение испытаний (для получения априорной и/или апостериорной информации о поведении «природы») в условиях реальной экономики невозможно. В-третьих, проведение модельных экспериментов, которые имитируют поведение «природы», в экономических исследованиях часто малопродуктивно, т.к. невозможно точно отразить и учесть все возможные сценарии будущего развития условий реализации принятого управленческого решения и все возможные способы действий всех многочисленных участников. Собственно, эти и другие особенности экономики представляют собой следствие принципиальной невозможности точного знания состояния экономической среды в будущем.

Традиционное применение статистических игр имеет известные преимущества при принятии управленческих решений в технике, например, в случае проверки качества уже выпущенной партии изделий, когда возможно проведение испытаний с целью статистической проверки выдвинутой статистической гипотезы. Иная ситуация имеет место при принятии управленческих решений в экономике, особенно в случае, когда реализация принятого сейчас решения растянута во времени, что типично, например, при реализации мегапроектов или в управлении корпорациями. Проведение любых испытаний сейчас (так сказать, «сегодня») с

целью проверки гипотезы о состоянии экономической среды, в котором оно окажется в будущем (так сказать, «завтра», «послезавтра» и т. п.), невозможно в принципе и бессмысленно по сути.

Будем считать, что в статистических играх всегда первый игрок – это статистик (ЛПР), который активно и осмысленно выбирает свои стратегии, а второй игрок – это «природа» (экономическая среда), которая пассивно выбирает свои чистые стратегии, т. е. случайно и неосознанно оказывается в одном со своих возможных состояний, при этом функционал оценивания  $\mathbf{R}$  обладает положительным ингредиентом, т. е. значение элемента  $r_{ij}$  платежной матрицы  $\mathbf{R} = \mathbf{R}^+ = \mathbf{R}_{k \times n}^+ = (r_{ij}^+)$  статистической игры задает выигрыш первого игрока в ситуации  $(i, j)$ , т. е. в случае, когда ЛПР применил свою чистую стратегию  $i$ , а «природа» оказалась в своем возможном состоянии  $j$ . Эти предположения не ограничивают общности рассуждений.

Для определенности рассматриваемые теоретико-игровые модели мы будем считать конечными играми. В конечномерном случае АИ – это матричная игра, т. е. конечная игра двух лиц с нулевой суммой. Однако все исследования могут быть обобщены и на бесконечномерный случай: все предлагаемые подходы, методы и модели могут быть обобщены на случай бесконечных антагонистических игр, обладающих необходимыми свойствами.

Пусть процесс принятия управленческих решений характеризует статистическая игра, составными частями которой являются следующие элементы:

1. первый игрок – это ЛПР, поведение которого сводится к осознанному выбору решения (чистой или смешанной стратегии), при условии, что задано множество  $\mathbf{I} = \{1; 2; \dots; i; \dots; k\}$  его чистых стратегий  $i$ ;
2. второй игрок – это экономическая среда («природа»), которая в момент реализации ЛПР своего принятого решения может случайным образом оказаться в одном из своих попарно несовместных возможных состояний из заданного множества  $\mathbf{J} = \{1; 2; \dots; j; \dots; n\}$  его возможных состояний  $j$ ;
3. отсутствие у ЛПР априорной информации о том, в каком именно своем возможном состоянии окажется экономическая среда в момент реализации им своего принятого решения (какую свою чистую стратегию реализует второй игрок);
4. отсутствие у ЛПР априорной информации о том, в каком именно своем возможном состоянии окажется экономическая среда после реализации им своего принятого решения (какую свою чистую стратегию реализует в будущем второй игрок);
5. полностью или частично заданный функционал оценивания (платежная матрица), при этом значение его элемента  $r_{ij}$  характеризует выигрыш ЛПР, т. е. эффективность принятого решения в случае выбора (реализации) ЛПР своей чистой стратегии  $i$  в условиях, когда экономическая среда оказалась в своем возможном состоянии  $j$ , где  $i = 1, k, j = 1, n$ .

Итак, исходя из приведенной выше схемы, процесс принятия управленческих решений можно формально описать игрой, т. е. следующей системой  $\langle \mathbf{I}; \mathbf{J}; \mathbf{R} \rangle$ ,

при этом принято выделять творческую и формальную составляющую процесса построения теоретико-игровой модели [8, с. 7–10].

Нужно учитывать, что в случае принятия статистических решений для данной ситуации принятия решений, заданной в поле имеющейся информационной ситуации (ИС) относительно стратегии поведения экономической среды, возможно применение разных критериев оптимальности, в том числе и принципа гарантированного результата.

Если все предпосылки корректности комбинированного применения статистических и антагонистических игр в экономике справедливы, то схема комбинированного применения статистических и антагонистических игр для принятия управленческих решений в экономике может быть представлена в виде последовательности действий, состоящей из выполнения следующих девяти шагов.

1. Формирование множества чистых стратегий первого игрока, т. е. перечисление возможных решений ЛПР (статистика), а также интерпретация смешанных стратегий первого игрока и их компонент, если его чистые стратегии совместимы.
2. Формирование множества чистых стратегий второго игрока, т. е. перечисление возможных состояний экономической среды («природы») или возможных сценариев будущего развития имеющейся ситуации.
3. Определение и формализация основных показателей эффективности и полезности, построение функционала оценивания, т. е. платежной матрицы игры, характеризующей процесс принятия управленческих решений в экономике.
4. Определение имеющейся ИС относительно стратегии поведения «природы» (экономической среды). Комбинированное применение статистических и антагонистических игр абсолютно корректно в случае, если с точки зрения ЛПР ему нецелесообразно рисковать, когда интересы ЛПР и экономической среды антагонистичны. Однако комбинированное применение статистических и антагонистических игр часто бывает возможным, целесообразным и корректным и в поле других ИС.
5. Решение соответствующей АИ, характеризующей процесс принятия управленческих решений, точнее КАИ, если построенная платежная матрица известна полностью, или НАИ, если построенная платежная матрица известна частично.
6. На основе найденного решения АИ, характеризующей процесс принятия управленческих решений, выбор оптимального решения.
7. Анализ корректности и эффективности, точнее математической корректности, экономической корректности, экономической целесообразности и экономической эффективности, выбранного оптимального управленческого решения.
8. Реализация выбранного оптимального решения.
9. Корректировка (по необходимости и возможности) выбранного оптимального управленческого решения в процессе его реализации, а также после его реализации.

## **КОМБИНИРОВАННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ...**

Вообще говоря, статистические игры допускают решение, как в чистых стратегиях, так и в смешанных стратегиях. Но найденная оптимальная стратегия  $\mathbf{p}^* = (p_1^*; p_2^*; \dots; p_i^*; \dots; p_k^*)$  первого игрока (ЛПР) может быть реализована в качестве управленческого решения тогда и только тогда, когда этот вектор, его компоненты  $p_i^*$  и их значения допускают экономическую интерпретацию, адекватную рассматриваемой ситуации принятия решений.

Принятие управленческих решений в экономике – это, вообще говоря, искусство, поэтому, ориентируясь на найденную ситуацию равновесия в АИ, характеризующей процесс принятия управленческих решений, ЛПР не обязано строго придерживаться соответствующей оптимальной стратегии первого игрока.

Принятие управленческих решений в экономике, основанное на комбинированном применении статистических и антагонистических игр, обладает рядом достоинств, в т. ч. позволяет экономить средства ЛПР, адекватно учитывать нестационарность, случайность, хаотичность, неполноту информации, неопределенность, конфликтность, конкуренцию, противоречивость, альтернативность, многокритериальность, обусловленный ими ЭР и оптимизировать уровень ЭР. Еще одним преимуществом предлагаемой концепции является прозрачность методов принятия управленческих решений.

Принятие управленческих решений в экономике, основанное на комбинированном применении статистических и антагонистических игр, обладает и недостатками, например, чрезмерной осторожностью. Поэтому комбинированное применение статистических и антагонистических игр наиболее целесообразно использовать в условиях, когда ЛПР считает, что ему не следует рисковать. Кроме того, согласно предпочтениям ЛПР, имеющейся у него информации, его профессиональной квалификации, компетентности, опыта и интуиции оптимальное управленческое решение, которое оно выберет для реализации, может отличаться от оптимальной стратегии, на которой основывается это управленческое решение.

Комбинированное применение статистических и антагонистических игр, даже в случае применения конечных игр, существенным образом расширяет сферу применения теоретико-игрового моделирования процесса принятия управленческих решений в экономике.

Кроме того, комбинированное применение статистических и антагонистических игр совместно с такими разделами математики как энтропийный подход, нечеткая математика, теория вероятностей и математическая статистика, теория случайных процессов [11, 12], прикладная статистика и эконометрия [13], конкретная математика [14] и другими разделами математики позволяет успешно решать самые разные задачи принятия управленческих решений с учетом неполноты информации, неопределенности, конфликтности и обусловленного ими экономического риска. В частности, позволяет решать задачу распределения ресурсов, находить структуру эффективного портфеля, выбирать наиболее надежные проекты, выбирать потенциальных заемщиков, обладающих наибольшим уровнем относительной репутации, определять значение индивидуальной ставки кредитования, оценивать интегральный потенциал предприятия и т. п.

Моделирование процессов принятия управленческих решений в экономике имеет целью повышение качества управления и эффективности функционирования ЭС. Однако формальное применение математических методов и моделей в экономических исследованиях может привести к нежелательным последствиям, например, к усугублению противоречий между участниками рассматриваемых ситуаций, процессов и явлений. Поэтому моделирование процессов принятия управленческих решений в экономике требует системного подхода, т. е. применения системного анализа рассматриваемых ситуаций, процессов и явлений.

В. Н. Лившиц отмечает, что следование принципу системности «предполагает рассмотрение изучаемой совокупности объектов (явлений, процессов) с позиций *общей теории систем*, отражая при этом в первую очередь особенности соотношения в рамках систем целого и части, а также их взаимодействия с внешней средой. Основные положения *принципа системности* обычно принимаются следующие:

- Целостный характер систем.
- Взаимосвязь в системе целого и частей.
- Примат целого над частями.
- Иерархичность структуры системы.
- Взаимодействие любого объекта системы с множеством других.
- Наличие целостной внешней среды и ее влияния на изучаемую систему.
- Динамизм систем, их структуры, характеристик элементов.
- Неоднозначность в будущем возможного состояния и поведения, в том числе нередко и хаотического, внешней среды и изучаемых систем.
- Устойчивость и/или эффективная адаптация, включая гомеостатическое поведение, сложных систем по отношению к неизвестному.
- Ориентация на высокую эффективность реализации системами их функций с учетом всех основных видов эффектов – внутренних, внешних и взаимодействия» [15, с. 62].

Сравним, как соотносятся между собой приведенные положения принципа системности, с одной стороны, и комбинированное применение статистических и антагонистических игр для моделирования процессов принятия управленческих решений в экономике, с другой стороны. Суть комбинированного применения статистических и антагонистических игр для моделирования процессов принятия управленческих решений в экономике заключается в отождествлении исходной статистической игры с соответствующей АИ, характеризующей процесс принятия управленческих решений, т. е. с АИ, заданной той же самой платежной матрицей. Таким образом, следует ограничиться сопоставлением свойств АИ и их решений с основными положениями принципа системности.

Согласно определению, игра представляет собой систему  $\Gamma_{\mathbf{R}} = \langle \mathbf{I}, \mathbf{J}, \mathbf{R} \rangle$ , где  $\mathbf{I} = \{1; 2; \dots; i; \dots; k\}$  – известное множество всех чистых стратегий первого игрока, занумерованных натуральными числами от 1 до  $k$ ,  $\mathbf{J} = \{1; 2; \dots; j; \dots; n\}$  – известное

множество всех чистых стратегий второго игрока, занумерованных натуральными числами от 1 до  $n$ ,  $\mathbf{R} = \mathbf{R}_{k \times n} = (r_{ij})$  – полностью или частично известная платежная матрица игры.

Итак, в более широком смысле *игра* – это формализованное описание (математическая модель) конфликтной ситуации, включающее четко определенные правила действий ее участников, которые стремятся достичь определенного успеха путем выбора конкретной, оптимальной (наилучшей с точки зрения удовлетворения своих собственных интересов), стратегии поведения. Участники игры называются *игроками*, а целевая функция игрока – его *платежной функцией*. В игре могут принимать участие несколько (двое и более) игроков. Важной и характерной особенностью игр является то, что интересы их участников (т. е. игроков) не совпадают.

Математическое описание игры включает задание таких ее составных частей (элементов, компонент, параметров), как

1. множество  $L = \{1; 2; \dots; l; \dots; L\}$  всех заинтересованных сторон (т. е. игроков);
2. множества  $S_l$ , где  $l = \overline{1, L}$ , возможных действий (стратегий)  $l$ -го игрока, при этом множества  $S_l$ , как правило, содержат несколько разных элементов, что влечет известную неопределенность поведения игроков;
3. четко определенные (несовпадающие) интересы всех игроков;
4. правила вычисления количественных значений выигрышей (или проигрышей, т. е. платежей)  $v_l$ , где  $l = \overline{1, L}$ , всех игроков, которые они будут получать (или будут обязаны выплачивать) после того, как они выберут и применят в партии игры свои конкретные стратегии, при этом значение выигрыша каждого игрока одновременно зависит от поведения в партии всех игроков;
5. четко определенные, известные всем правила действий всех участников (т. е. правила поведения всех игроков).

Для АИ имеем  $L = \{1; 2\}$ ,  $L = 2$ . Целостный характер игры (в широком смысле) состоит в обязательности наличия всех перечисленных ее составных частей. Нарушение хотя бы одной составной части игры (в широком смысле) превращает ее в другую систему. Аналогично, нарушение хотя бы одной составной части АИ и/или взаимосвязей между ними превращает ее в другую систему. Это подтверждает целостный характер АИ как системы.

Взаимосвязь в АИ целого и частей проявляется, прежде всего, в том, что значения выигрышей каждого из игроков зависят от действий всех игроков, а не только от действий соответствующего игрока.

Примат целого над частями в игре проявляется, в частности, в определении ситуации равновесия. По мнению Н. Н. Воробьева, основными задачами теории игр можно считать следующие три: «выработку принципов оптимальности, установление их реализуемости (т. е. установление существования оптимальных в этом смысле ситуаций) и нахождение их реализаций» [4, с. 12]. На сегодня в теории игр нет (и не может быть) единственной концепции оптимальности (и, как

следствие, – единственной концепции решения игры), одинаково пригодной для игр всех классов. В теории игр понятие оптимальности и понятие оптимального решения игры являются объективными, хотя они и не являются однозначными, априорными и абсолютными. «Основными содержательными чертами оптимальности в применении к исходу или к множеству исходов конфликта можно считать интуитивные представления о выгодности, устойчивости и справедливости» [4, с. 13].

Одной из ключевых форм реализации представления об оптимальности является понятие равновесия: «ситуация называется *равновесной*, если ни один из игроков не заинтересован в том, чтобы ее нарушить, отклониться от нее» [4, с. 15]. Другими словами, ни одному из игроков не выгодно отклоняться от ситуации равновесия в одностороннем порядке. Решение игры и заключается в поиске ситуации равновесия.

Иерархичность структуры системы является типичной для игр отдельных классов, в частности, для иерархических и рефлексивных игр. Что касается АИ, то их структура характеризуется известной равноправностью игроков, обладающих одинаковой информацией, придерживающихся одним и тем же принципам, а также выбирающих и применяющих свои стратегии одновременно.

В играх обязательно имеет место взаимодействие любого объекта системы с множеством других, при этом в кооперативных и коалиционных играх участники имеют право объединяться и действовать сообща. В АИ взаимодействие двух игроков носит специфический характер, т.к. их интересы абсолютно и полностью противоречивы. Наличие этих противоречий учитывается обоими игроками и лежит в основе выбора ими своих оптимальных стратегий.

Наличие целостной внешней среды и ее влияния на изучаемую систему ярче всего проявляется в статистических играх, в которых поведение «природы» существенным образом влияет на результаты действий первого игрока, т. е. ЛПР, собственно на результаты управления ЭС, основанного на теоретико-игровом моделировании процессов принятия управленческих решений в экономике.

Динамизм систем, их структуры, характеристик элементов трудно отразить за счет применения статистических и/или антагонистических игр, применение которых в значительной мере рассчитано на применение статических моделей принятия решений. Учет при помощи АИ динамических свойств ЭС, их структуры, характеристик элементов может потребовать решения не одной, а нескольких игр, что существенно увеличивает техническую сложность теоретико-игрового моделирования процессов принятия управленческих решений в экономике. Безусловно, такой класс игр, как, например, класс динамических (позиционных) игр, позволяет существенно адекватнее и значительно качественнее отражать свойства динамических систем.

Неоднозначность в будущем возможного состояния и поведения, в том числе нередко и хаотического, внешней среды и изучаемых систем выражается в обязательном и типичном для теории игр предположении неопределенности и риска, в условиях наличия которых игроки вынуждены выбирать свои стратегии и принимать свои решения.

## **КОМБИНИРОВАННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ...**

Устойчивость и/или эффективная адаптация, включая гомеостатическое поведение, сложных систем по отношению к неизвестному, по сути, заложена в принципе гарантированного результата, лежащего в основе рассуждений игроков при поиске ими своих оптимальных стратегий.

Ориентация на высокую эффективность реализации системами их функций с учетом всех основных видов эффектов – внутренних, внешних и взаимодействия – в некотором смысле также заложена в принципе гарантированного результата, применение которого игроками позволяет им одновременно оптимизировать значения своих выигрышей и уровень собственного риска.

### **ВЫВОДЫ**

Таким образом, анализ соответствия свойств игр разных классов основным положениям принципа системности позволяет прийти к выводу, что применение АИ для моделирования процессов принятия управленческих решений в экономике соответствует большинству (семи из десяти) основных положений принципа системности. А комбинированное применение статистических и антагонистических игр для моделирования процессов принятия управленческих решений в экономике соответствует еще большему количеству основных положений принципа системности: восьми из десяти. Наконец, следует признать возможным учет еще одного положения принципа системности, а именно положения о динамизме систем, их структуры, характеристик элементов. Правда, в случае применения статистических и антагонистических игр для моделирования процессов принятия управленческих решений в экономике учет положения о динамизме может повлечь определенные трудности технического свойства.

Единственным положением принципа системности, учет которого в случае применения статистических и антагонистических игр для моделирования процессов принятия управленческих решений в экономике следует признать практически невозможным, является положение об иерархичности структуры системы. Необходимость учета этого положения, если она имеется в рассматриваемой ситуации, может потребовать привлечения игр других классов, например, иерархических (или рефлексивных) игр.

### **Список литературы**

1. Сигал А. В. Теория игр для принятия решений в экономике: монография. Симферополь: ДИАИПИ, 2014. 308 с.
2. Нейман Дж. фон, Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 708 с.
3. Воробьев Н. Н. Основы теории игр. Бескоалиционные игры. М.: Физматлит, 1984. 496 с.
4. Воробьев Н. Н. Теория игр для экономистов-кибернетиков. М.: Наука, 1985. 272 с.
5. Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике. М.: Мир, 1964. 838 с.
6. Льюс Р. Д., Райфа Х. Игры и решения. Введение и критический обзор. М.: ИЛ, 1961. 642 с.
7. Вальд А. Последовательный анализ. М.: Физматгиз, 1960. 328 с.
8. Трухаев Р. И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. М.: Наука, 1981. 258 с.
9. Блекуэлл Д., Гиршик М. А. Теория игр и статистических решений. М.: ИЛ, 1958. 318 с.

10. Сигал А. В. О принятии управленческих решений в экономике на основе сочетания применения антагонистических и статистических игр // Анализ, моделирование, управление, развитие экономических систем (АМУР-2013) : сб. научных трудов VII Междунар. школы-симпозиума АМУР-2013 (Севастополь, 12-21 сентября 2013). Симферополь: ТНУ им. В. И. Вернадского, 2013. С. 303-312.
11. Булинский А. В., Ширяев А. Н. Теория случайных процессов. М.: Физматлит, 2003. 400 с.
12. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2000. 383 с.
13. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ, 1998. 1006 с.
14. Грэхем Р. Л., Кнут Д. Э., Паташник О. Конкретная математика. Математические основы информатики. М.: Вильямс, 2009. 784 с.
15. Лившиц В. Н. Системный анализ рыночного реформирования нестационарной экономики России: 1992-2013. М.: ЛЕНАНД, 2013. 640 с.

*Статья поступила в редакцию 26.10.2015*