

### 1.3. ОПЕРАЦИОННОЕ ИГРОВОЕ СЦЕНАРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Шевченко В. В., ФИЦ ИУ РАН, Москва

*В работе рассматриваются базовые представления оригинального подхода к теоретико-игровому моделированию микро- и макроэкономических взаимодействий, апробированного на решении многих задач прикладного характера. Приводятся общие уравнения динамики операционных игровых взаимодействий, используемые в этом подходе. На примере формирования системы уравнений и неравенств материального и финансового баланса при проведении только производственных, обменных, кредитных, потребительских и налоговых операций демонстрируется процесс конкретизации общих уравнений для частных операционных игровых взаимодействий. Рассматриваются возможности практического применения и перспективы развития операционного игрового сценарного моделирования.*

#### Введение

Начало развития математической теории игр как научного направления справедливо связывается с основополагающей работой [1], в которой определены понятия игры и процесса игрового взаимодействия, записи игры в нормальной и позиционной форме, классы матричных антагонистических и биматричных игр, понятия чистой и смешанной стратегии, разработана методология анализа матричных и биматричных игр. Далее стали рассматриваться и анализироваться дифференциальные, повторяющиеся, многошаговые, корпоративные игры, определены понятия равновесия (по Нэшу и другие), сформулирован принцип гарантированного результата и другие принципы оптимальности, принимаемые игроками за основу в процессе принятия решений. По числу розыгрышей игры разделяются на статические (один розыгрыш) и динамические (много последовательных розыгрышей). Повторяющиеся игры – динамические игры, в которых каждый последующий розыгрыш никак не зависит от того, каковы результаты предыдущих розыгрышей, многошаговые – те, в которых такая зависимость есть.

С точки зрения математического моделирования реальных микро- и макроэкономических процессов наиболее интересны игры с противоположными интересами, класс которых определил Ю.Б. Гермейер [2,3], иерархические игры Гермейера [3] и игры с иерархическим вектором интересов Вателя-Гермейера [4]. Также весьма важными следует признать теорию исследования операций, основы которой как формализованной теории заложены в [2] (сам термин «исследование операций» предложен в работах Рассела Линкольна Акоффа (1919-2009)), и само определение Ю.Б. Гермейером операции как «совокупности целенаправленных действий». С развитием направлений, заложенных Ю.Б. Гермейером, связано много работ его непосредственных учеников и последователей, среди которых отметим работы [5-7], в которых предложен оригинальный и практически значимый принцип согласования интересов, основанный на компромиссе при метацели [5], рассмотрены вопросы агрегирования информации, неопределённостей, связанных ограничений в игровых взаимодействиях. Значительное влияние на формирование методологии операционного игрового сценарного моделирования оказали также работы школы А.А. Петрова [8] по разработке и использованию методологии системного анализа развивающейся экономики (САЭ), теория активных систем В.Н. Буркова [9], работы школы имитационного моделирования Ю.Н. Павловского [10-11].

Идеология операционного игрового сценарного моделирования [12-21] родилась в процессе решения конкретных практических задач, связанных с прогнозированием и поддержкой принятия решений при управлении функционированием и развитием оборонно-промышленного комплекса России и промышленного комплекса Москвы. Накопленный опыт экономико-математического моделирования, во многом оторванный от реальной практики принятия решений, не позволял найти подходы к решению этих задач. Математические методы оптимизации без рассмотрения игровых взаимодействий (линейное и динамическое программирование, теория расписаний и теория массового обслуживания, моделирование с использованием дифференциальных и разностных уравнений) хорошо работали при рассмотрении частных аспектов производственно-экономической деятельности (транспортные задачи, организация производственно-технологических процессов, обслуживание очередей, расчеты по инвестиционно-кредитным взаимодействиям с использованием понятия приведенного дохода), но не позволяли рассматривать производственно-экономический процесс как единое целое. Накопленный опыт теоретико-игрового моделирования позволял анализировать лишь простейшие академические примеры игрового взаимодействия, далёкие от взаимодействия практического, реального. Практика имитационного моделирования требовала перехода от полуэмпирических подходов к фундаментальным, соответствующим «нормам научной строгости». Необходимо было в соответствии с пожеланиями основоположников теории игр «построить удовлетворяющее нормам научной строгости описание простейших фактов экономической жизни» [1]. Родилась идея представления многошаговых игр в виде динамических ансамблей статических игр, моделирующих «простейшие факты экономической жизни» с использованием регулирующих правил разрешения возможных ресурсов конфликтов между игроками этого ансамбля.

С целью формализации (самого общего характера) самих названных статических игр, описывающих простейшие одномоментные хозяйственные операции (хозяйственные факты), было уточнено предло-

женное Гермейером определение операции как «совокупности целенаправленных действий». Для этого было принято решение ограничиться играми с конечномерным фазовым (конфигурационным) пространством возможных состояний игрового процесса (физических состояний, без учета имеющейся у игроков информации, договоренностей между ними, планируемых стратегий поведения, намерений). В рамках такого ограничения действием названа некоторая зависящая от управляющего вектора вектор-функция, определяющая перемещение в фазовом пространстве при совершении данного действия. Строгое определение получил и порядок объединения действий в совокупности с целью описания той или иной операции (статической игры ансамбля статических игр рассматриваемой операционной игры). В соответствии с этим порядком для описания операции необходимо определить её участников (в виде подмножества всего множества игроков операционной игры), перечень действий, связанных с данной операцией (вектор-функций, зависящих от вектора управления операцией), и алгоритм определения вектора управления операцией, исходя из выборов участников в части данной операции и реализации связанных с данной операцией неопределённых факторов. Целенаправленность было принято понимать традиционно: каждый игрок руководствуется своим принципом оптимальности, множеством его выборов является декартово произведение множеств его выборов по всем операциям, в которых он участвует.

Операционный игровой процесс – многошаговый процесс игрового взаимодействия, на каждом шаге которого проводятся некоторые из множества возможных операций, в результате чего изменяется положение в фазовом пространстве игрового процесса. Для разрешения возможных ресурсных конфликтов между операциями на каждом шаге этого процесса вектора управлений операций корректируются тем или иным избранным в данной игре регулирующим правилом. Динамика операционных процессов определяется вполне определённой системой соотношений.

Далее в пункте 1 представлено формальное описание операционной игры, лежащее в основе операционного игрового сценарного моделирования (заимствованное из других опубликованных работ автора, публикационный повтор этого описания необходим). В пункте 2 (впервые в открытой печати) показывается, как при рассмотрении только производственных, обменных (купли-продажи продукции, услуг, труда), кредитных и налоговых операций из общих уравнений динамики операционных игровых процессов получают традиционно используемые уравнения материального и финансового баланса. В пункте 3 рассматриваются вопросы возможного практического использования операционного игрового сценарного моделирования, в пункте 4 – перспективы развития этого направления исследований.

### 1. Базовые понятия и представления операционного игрового сценарного моделирования

Пусть имеется  $N$  игроков (одним из которых может быть и природа), взаимодействующих на отрезке дискретного времени, фазовое состояние которых обозначим векторами  $x_i$ ,  $i = 1, \dots, N$   $x_i \in G_{x_i} \subseteq R^{n_i}$ . Размерности векторов  $n_1, \dots, n_N$ . Будем считать, что их взаимодействие реализуется путём проведения ими одномоментных операций, в процессе которых изменяется и положение игрового процесса в своём фазовом пространстве (являющемся декартовым произведением фазовых пространств игроков  $G = G_{x_1} \times \dots \times G_{x_N}$   $G \subseteq R^{n_1 + \dots + n_N}$ ), и параметры самих операций. Описывая операцию, будем задавать

– подмножество множества игроков  $I_j \in \{1, \dots, N\}$  (множество ЛПП-операций), принимающих участие в принятии решений по её проведению, в определении векторов  $u_j$  управлений  $j$ -й операции при её проведении;

– функцию (вектор-функцию) свёртки операции  $f_j(y_k^j(k \in I_j), \xi_j)$ , представляющую собой алгоритм определения вектора управления операции по выборам игроков из множества ЛПП-операций  $y_k^j$  (из своих множеств выборов по данной операции  $H_k^j$ ) и по реализациям связанных с данной операцией неопределённостей  $\xi_j \in \Xi_j$ ;

– множества простых  $PR_j$  и операторных  $PR_j^o$  действий данной операции, реализующихся при проведении операции и меняющих положение игрового процесса в фазовом пространстве (простые действия) и параметры самих операций (операторные действия).

Множество операций операционной игры обозначим  $OP = \{op_1, \dots, op_M\}$ .

Множества простых и операторных действий  $PR$  и  $PR^o$  будем считать едиными (общими) для всех операций. Этим множествам принадлежат множества действий операций. Числа действий в множествах  $PR$  и  $PR^o$  обозначим  $Q$  и  $Q^o$ , числа действий  $j$ -й операции –  $Q_j$  и  $Q_j^o$ . Будем также полагать унифицированным, заданной размерности  $L$ , общим для всех операций, вектор управления операций (в каждой конкретной операции некоторые его компоненты могут не использоваться). С каждым  $L$ -м простым или операторным действием  $j$ -й операции связаны в общем случае несколько функций сумм этого действия, зависящих от вектора управления:  $S_{j\alpha_1}, \dots, S_{j\alpha_{jL}}$  для простого действия или  $S_{j\beta_1}^o, \dots, S_{j\beta_{jL}}^o$  для операторного. На эти суммы (положительные, отрицательные, нулевые) изменяются при реализации действия связанные с данной суммой координата фазового пространства  $G$  или связанный параметр действия или операции.

В каждый момент времени игрового взаимодействия сделанные игроками выборы и реализации неопределённостей определяют некоторое следующее из проводимых операций перемещение в пространстве  $R^{n_1 + \dots + n_N}$ . Но это перемещение может выводить процесс из допустимой области  $G$ . В связи с чем, в каждой операционной игре подлежит определению регулирующее правило, корректирующее управление операцией так, чтобы этого не происходило. В простом и наиболее распространённом случае ограничен-

ности ресурсов такими правилами могут быть пропорциональные урезания запрашиваемых операциями ресурсов, системы приоритетов операций, другие. Будем считать, что такое правило определено и вектора управлений, определяемые функциями свёртки операций, становятся аргументами функций сумм проводок после коррекции регулирующим правилом. Скорректированные вектора управления будем отмечать волной ( $\tilde{u}_j$ ).

С каждой суммой  $S_{jlm}$  простого действия той или иной операции связана некоторая координата пространства игрового взаимодействия  $R^{n_1+\dots+n_N}$   $x_{ir}$   $i \in \{1, \dots, N\}$ ,  $r \in \{1, \dots, n_i\}$ , которую данная сумма меняет. Обозначим  $\delta_{jlm}^{ir}$  индикатор, равный единице, если с  $S_{jlm}$  связана именно  $x_{ir}$ , и нулю в противном случае. Тогда система уравнений динамики фазовых переменных в операционном игровом взаимодействии в дискретном времени запишется как

$$x_{ir}(t+1) = x_{ir}(t) + \sum_{j=1}^M \sum_{l=1}^{Q_j} \sum_{m=1}^{\alpha_{jl}} \delta_{jlm}^{ir} \cdot S_{jlm}(\tilde{u}_j(t)) \quad i = 1, \dots, N; \quad r = 1, \dots, n_i. \quad (1)$$

Аналогично (1) запишется и система уравнений динамики тех параметров действий и операций, которые могут менять операторные действия. Если таких параметров  $K$  и они упорядочены, обозначим их  $\pi_1, \dots, \pi_K$ . Система уравнений их динамики запишется как

$$\pi_q(t+1) = \pi_q(t) + \sum_{j=1}^M \sum_{l=1}^{Q_j} \sum_{m=1}^{\beta_{jl}} \delta_{jlm}^{\alpha q} \cdot S_{jlm}(\tilde{u}_j(t)) \quad q = 1, \dots, K. \quad (2)$$

Системы (1-2) вместе с регулирующим правилом позволяют проигрывать (имитировать) любое операционное игровое взаимодействие данной операционной игры, если известны выборы игроков и реализации неопределённостей в каждый момент отрезка дискретного времени этого взаимодействия. Выборы игроков определяются их принципами оптимальности и принятыми стратегиями поведения (в виде программы или синтеза), которые могут быть самыми разными. Неопределённости могут как описываться, так и не описываться теми или иными распределениями вероятностей.

Весьма гибким языком описания ограничений законодательного и иного характера, обязательств игроков, предположений о поведении других игроков и реализации неопределённостей являются записи вида

$$\text{ЕСЛИ } \langle \text{условие} \rangle \text{ ТО } \langle \text{действие} \rangle \text{ ИНАЧЕ } \langle \text{санкция} \rangle, \quad (3)$$

в которых  $\langle \text{условие} \rangle$  имеет формат логического предложения, терминами которого могут быть любые простейшие констатации о значениях (или интервалах значений) фазовых переменных, выборов игроков, реализациях неопределённостей, наличии и исполнении тех или иных обязательств, информированности игроков с начала игры до текущего момента;  $\langle \text{действие} \rangle$  и  $\langle \text{санкция} \rangle$  имеют императивный формат регламентации (возможно интервальной) выборов игроков в текущий момент времени.

Для задания информационной структуры операционной игры необходимо определить, какое подмножество полной информации о ходе игрового взаимодействия имеет каждый из игроков в каждый момент этого взаимодействия. Под полной информацией при этом понимается точное знание о динамике фазовых переменных, выборов, реализаций неопределённостей, совокупностей обязательств, ограничений, избранных стратегий поведения игроков.

## 2. Формирование уравнений динамики операционных игровых взаимодействий

Системы (1)-(2), аналогично законам Ньютона или уравнению Менделеева-Клаиперона, являются универсальными общими уравнениями динамики любых операционных игровых процессов. При определении фазового пространства операционной игры и его допустимой области, множества игроков, операций и регулирующего правила конкретной игры из этих уравнений получаются уравнения (и неравенства) динамики игрового взаимодействия в этой конкретной игре. Как конкретно получаются, покажем на примере операционной игры  $N$  лиц (игроков), одно из которых – государство ( $\Gamma$ ), моделирующей базовые макроэкономические взаимодействия автаркического характера.

Будем полагать, что имеется одна валюта, игроки могут совершать производственные, обменные (купли-продажи продукции, услуг, труда), кредитные, потребительские и налоговые операции, что в налоговых операциях государство (первый игрок) всегда налогоплательщик, а все другие – налогоплательщики. Каждый игрок имеет счета, учитывающие находящиеся в его распоряжении сырьё и материалы ( $k$  видов), средства производства ( $l$  видов), предметы потребления ( $m$  видов), денежные средства. Наряду с предметами потребления производится  $n$  видов услуг. Вторым игроком являются домашние хозяйства (ДХ), которые наряду с перечисленными счетами имеют счета численности работников из  $g$  различных квалификационных групп и счёт численности иждивенцев. Игроки с номерами более 2 могут быть кем угодно по усмотрению моделирующего: производством в целом или его отраслью, банковской системой или её частью, чем-то иным.

Обозначим изменяющиеся в дискретном времени состояния базовых (независимых, не вычисляемых по другим) счетов как

$$x_i^j(t) \quad i = 1, \dots, k \quad j = 1, \dots, N \quad \text{- количество } i\text{-го вида сырья и материалов на счету } j\text{-го игрока в момент } t;$$

$$y_i^j(t) \quad i = 1, \dots, l \quad j = 1, \dots, N \quad \text{- количество } i\text{-го вида средств производства на счету } j\text{-го игрока в момент } t;$$

$z_i^j(t)$   $i = 1, \dots, m$   $j = 1, \dots, N$  - количество  $i$ -го вида предметов потребления на счету  $j$ -го игрока в момент  $t$ ;

$us_i^j(t)$   $i = 1, \dots, n$   $j = 1, \dots, N$  - объем  $i$ -го вида услуги, произведенной  $j$ -м игроком к моменту  $t$  включительно;

$ub_i^j(t)$   $i = 1, \dots, n$   $j = 1, \dots, N$  - объем  $i$ -го вида услуги, использованной  $j$ -м игроком к моменту  $t$  включительно;

$Q^j(t)$   $j = 1, \dots, N$  - количество денежных средств на счету  $j$ -го игрока в момент  $t$ ;

$w_i^r(t)$   $i = 1, \dots, r$  - наличие работников  $i$ -й квалификационной группы у игрока ДХ в момент  $t$ ;

$w_i^j(t)$   $i = 1, \dots, r$   $j = 1, 3, \dots, N$  - количество работников  $i$ -й квалификационной группы, нанятых игроком  $j$  для использования в момент  $t$ .

Введём и обозначим также аналитические (вычисляемые по базовым) счета:

$ar^j(t)$   $j = 1, \dots, N$  - дебиторская задолженность  $j$ -го игрока в момент  $t$ ;

$ap^j(t)$   $j = 1, \dots, N$  - кредиторская задолженность  $j$ -го игрока в момент  $t$ ;

$pr^j(t)$   $j = 1, \dots, N$  - собственность  $j$ -го игрока в момент  $t$ ;

$sal^j(t)$   $j = 1, \dots, N$  - реализация  $j$ -го игрока за момент  $t$ ;

$pur^j(t)$   $j = 1, \dots, N$  - закупки  $j$ -го игрока за момент  $t$ .

Будем считать, что принципиально возможными являются индивидуальные производственные операции по производству любого вида сырья и материалов, любого вида средств производства, любого вида предмета потребления и любой услуги, проводимые любым из  $N$  игроков. При этом производственные функции производства одного и того же вида продукции или услуги различными игроками в общем случае различаются. И, таким образом, рассматривается  $(k+l+m+n)N$  производственных операций. Производственные функции будем считать линейными, леонтьевскими. Управление любой производственной операцией будем считать скалярным, объемом производства продукции или услуги. Функции свертки таких операций вырожденные, объем производства определяет тот игрок, который проводит операцию. Временем проведения всех операций, включая производственные, будем считать один такт дискретного времени, в котором рассматривается операционное игровое взаимодействие (день, неделя, месяц, квартал, год). Действиями, реализуемыми в процессе проведения любой производственной операции, являются:

- действие, уменьшающее сальдо (значение) счетов используемых видов сырья и материалов игрока (проводящего операцию) на объем производства (управление операцией), умноженный на компоненты векторной материалоемкости операции, соответствующие этим видам;

- действие, увеличивающее сальдо счета произведенной продукции или услуги на объем производства;

- действие, уменьшающее в начале и увеличивающее в конце такта проведения операции счета используемых видов основных средств игрока (проводящего операцию) на объем производства, умноженный на компоненты векторной фондоемкости операции, соответствующие этим видам;

- действие, уменьшающее в начале и увеличивающее в конце такта проведения операции счета нанятых игроком (проводящим операцию) работников используемых квалификационных групп, на объем производства, умноженный на компоненты векторной трудоёмкости операции, соответствующие этим группам.

Обозначим указанные производственные операции и их управления и характеристики:

$po1_i^j$   $i = 1, \dots, k$   $j = 1, \dots, N$  - производственная операция по производству  $i$ -го вида сырья и материалов  $j$ -м игроком;

$me1_i^j$   $i = 1, \dots, k$   $j = 1, \dots, N$  - вектора материалоемкостей производственных операций по производству  $i$ -го вида сырья и материалов  $j$ -м игроком (с компонентами  $me1_{iq}^j$   $q = 1, \dots, k$ );

$fe1_i^j$   $i = 1, \dots, k$   $j = 1, \dots, N$  - вектора фондоемкостей производственных операций по производству  $i$ -го вида сырья и материалов  $j$ -м игроком (с компонентами  $fe1_{iq}^j$   $q = 1, \dots, l$ );

$te1_i^j$   $i = 1, \dots, k$   $j = 1, \dots, N$  - вектора трудоёмкостей производственных операций по производству  $i$ -го вида сырья и материалов  $j$ -м игроком (с компонентами  $te1_{iq}^j$   $q = 1, \dots, r$ );

$v1_i^j(t)$   $i = 1, \dots, k$   $j = 1, \dots, N$  - объем производства  $i$ -го вида сырья и материалов  $j$ -м игроком в момент  $t$ ;

$po2_i^j$   $i = 1, \dots, l$   $j = 1, \dots, N$  - производственная операция по производству  $i$ -го вида средств производства  $j$ -м игроком;

$me2_i^j$   $i = 1, \dots, l$   $j = 1, \dots, N$  - вектора материалоемкостей производственных операций по производству  $i$ -го вида средств производства  $j$ -м игроком (с компонентами  $me1_{iq}^j$   $q = 1, \dots, k$ );

$fe2_i^j$   $i = 1, \dots, l$   $j = 1, \dots, N$  - вектора фондоемкостей производственных операций по производству  $i$ -го вида средств производства  $j$ -м игроком (с компонентами  $fe1_{iq}^j$   $q = 1, \dots, l$ );

$te2_i^j$   $i = 1, \dots, l$   $j = 1, \dots, N$  - вектора трудоемкостей производственных операций по производству  $i$ -го вида средств производства  $j$ -м игроком (с компонентами  $me1_{iq}^j$   $q = 1, \dots, r$ );

$v2_i^j(t)$   $i = 1, \dots, l$   $j = 1, \dots, N$  - объем производства  $i$ -го вида средств производства  $j$ -м игроком в момент  $t$ ;

$po3_i^j$   $i = 1, \dots, m$   $j = 1, \dots, N$  - производственная операция по производству  $i$ -го вида предметов потребления  $j$ -м игроком;

$me3_i^j$   $i = 1, \dots, m$   $j = 1, \dots, N$  - вектора материалоемкостей производственных операций по производству  $i$ -го вида предметов потребления  $j$ -м игроком (с компонентами  $me1_{iq}^j$   $q = 1, \dots, k$ );

$fe3_i^j$   $i = 1, \dots, m$   $j = 1, \dots, N$  - вектора фондоемкостей производственных операций по производству  $i$ -го вида предметов потребления  $j$ -м игроком (с компонентами  $fe1_{iq}^j$   $q = 1, \dots, l$ );

$te3_i^j$   $i = 1, \dots, m$   $j = 1, \dots, N$  - вектора трудоемкостей производственных операций по производству  $i$ -го вида предметов потребления  $j$ -м игроком (с компонентами  $me1_{iq}^j$   $q = 1, \dots, r$ );

$v3_i^j(t)$   $i = 1, \dots, m$   $j = 1, \dots, N$  - объем производства  $i$ -го вида предметов потребления  $j$ -м игроком в момент  $t$ ;

$po4_i^j$   $i = 1, \dots, n$   $j = 1, \dots, N$  - производственная операция по производству  $i$ -го вида услуг  $j$ -м игроком;

$me4_i^j$   $i = 1, \dots, n$   $j = 1, \dots, N$  - вектора материалоемкостей производственных операций по производству  $i$ -го вида услуг  $j$ -м игроком (с компонентами  $me1_{iq}^j$   $q = 1, \dots, k$ );

$fe4_i^j$   $i = 1, \dots, n$   $j = 1, \dots, N$  - вектора фондоемкостей производственных операций по производству  $i$ -го вида услуг  $j$ -м игроком (с компонентами  $fe1_{iq}^j$   $q = 1, \dots, l$ );

$te4_i^j$   $i = 1, \dots, n$   $j = 1, \dots, N$  - вектора трудоемкостей производственных операций по производству  $i$ -го вида услуг  $j$ -м игроком (с компонентами  $me1_{iq}^j$   $q = 1, \dots, r$ );

$v4_i^j(t)$   $i = 1, \dots, n$   $j = 1, \dots, N$  - объем производства  $i$ -го вида услуг  $j$ -м игроком в момент  $t$ ;

Обменные (купли-продажи продукции, услуг, труда) операции также возможны между любыми игроками. При этом любой из  $N$  игроков может выступать в таких операциях и в роли покупателя (заказчика), и в роли продавца (поставщика). Множество ЛПР обменной операции состоит из двух игроков - покупателя и продавца продукции, услуги, труда. Вектор управления состоит из двух подвекторов равной размерности - вектора объемов и вектора цен реализуемых продукции, услуг, труда. Труд будем считать реализуемым в виде найма на текущий такт времени определенных чисел работников определенной квалификации. Число принципиально возможных простых обменных операций купли-продажи одного вида продукции, услуг или труда одной квалификации равно  $(k+m+n+r)N(N-1)$ . Комплексные обменные операции представляются в виде совокупностей таких операций. Алгоритмом выбора управлений (функцией свертки) обменной операции является договоренность между продавцом и покупателем об объемах и ценах. Действиями обменной операции являются

- уменьшение сальдо счетов продавца, учитывающих имеющиеся у него сырьё и материалы, средства производства, предметы потребления, произведенные им услуги, нанятых им на текущий момент работников различной квалификации;

- увеличение сальдо счетов покупателя, учитывающих имеющиеся у него сырьё и материалы, средства производства, предметы потребления, использованные им услуги, нанятых им на текущий момент работников различной квалификации;

- увеличение сальдо счета денежных средств продавца на сумму закупок;

- уменьшение сальдо счёта денежных средств покупателя на сумму закупок.

Обозначим принципиально возможные простые обменные операции и их управления:

$eo1_i^{jq}$   $i = 1, \dots, k$   $j = 1, \dots, N$   $q = 1, \dots, N$  - обменная операция по продаже  $i$ -го вида сырья и материалов  $j$ -м игроком  $q$ -му,  $V1_i^{jq}$  - её объём,  $C1_i^{jq}$  - цена;

$eo2_i^{jq}$   $i = 1, \dots, l$   $j = 1, \dots, N$   $q = 1, \dots, N$  - обменная операция по продаже  $i$ -го вида средств производства  $j$ -м игроком  $q$ -му,  $V2_i^{jq}$  - её объём,  $C2_i^{jq}$  - цена;

$eo3_i^{jq}$   $i = 1, \dots, m$   $j = 1, \dots, N$   $q = 1, \dots, N$  - обменная операция по продаже  $i$ -го вида предметов потребления  $j$ -м игроком  $q$ -му,  $V3_i^{jq}$  - её объём,  $C3_i^{jq}$  - цена;

$eo4_i^{jq}$   $i = 1, \dots, n$   $j = 1, \dots, N$   $q = 1, \dots, N$  - обменная операция по продаже  $i$ -го вида услуг  $j$ -м игроком  $q$ -му,  $V4_i^{jq}$  - её объём,  $C4_i^{jq}$  - цена;

$eo5_i^{jq}$   $i = 1, \dots, r$   $j = 1, \dots, N$   $q = 1, \dots, N$  - обменная операция по продаже 1 такта труда работников  $i$ -го типа квалификации  $j$ -м игроком  $q$ -му,  $V5_i^{jq}$  - её объём,  $C5_i^{jq}$  - цена.

Потребительские операции являются операциями жизненно необходимого или избыточного потребления игроками предметов потребления и услуг (потреблением недвижимости и оборудования при этом

можно считать их амортизацию). Естественно полагать, что могут быть заданы объемы жизненно необходимого потребления предметов и услуг игроков за 1 такт времени  $VP_i^j$   $i = 1, \dots, m$   $j = 1, \dots, N$  (предметы потребления) и  $VU_i^j$   $i = 1, \dots, n$   $j = 1, \dots, N$  (услуги), и в каждый момент времени имеет место реальное потребление  $vp_i^j(t)$   $i = 1, \dots, m$   $j = 1, \dots, N$  и  $vu_i^j(t)$   $i = 1, \dots, n$   $j = 1, \dots, N$ .

В кредитных операциях, так же, как и в обменных, любой из игроков может выступать и кредитором, и заёмщиком. Форм и условий кредитования великое множество. Ограничимся для начала рассмотрением простейшей формы кредитования, при которой процент взимается с суммы кредита потактно и его ставка одина для всех и установлена законодательно (обозначим её %), срок пользования кредитом неограничен. Каждый игрок может в любой момент передать другому игроку при его согласии оговоренную сумму под условием ежетапного получения с этой суммы установленного единого процента. В этом случае в каждый момент времени принципиально возможно  $N(N-1)$  кредитных операций, управлениями которых (устанавливаемыми по договору кредитором и заёмщиком) являются передаваемые в кредит суммы  $QCR_q^j(t)$   $j = 1, \dots, N$   $q = 1, \dots, N$  ( $j$  - кредитор  $q$  - заёмщик). При этом плюс или минус игрока от кредитных операций за такт  $t$  определится как %, умноженный на разницу его дебиторской и кредиторской задолженностей к началу этого момента.

Из налоговых операций введём налог на собственность и налог на добавленную стоимость. Будем считать, что эти налоги передаются первому игроку (государству) всеми остальными (для начала не будем дифференцировать систему налогообложения физических и юридических лиц, полагая, что в будущем, возможно, так и будет). Ставки потактных налога на собственность ( $\%_{pr}$ ) и налога на добавленную стоимость ( $\%_{sp}$ ) будем считать установленными законодательно. База налога на собственность – текущее значение аналитического счёта собственности, база налога на добавленную стоимость – разница оборотов за такт аналитических счетов реализации и закупок (всего, включая труд).

Регулирующее правило примем в виде пропорционального урезания без приоритетов управлений операций, конфликтующим по одному или нескольким ресурсам. Действие регулирующего правила запишется математически в виде требования положительности сальдо всех базовых и аналитических счетов. В связи с тем, что в процессе производственных операций работники и средства производства занимаются в начале такта и освобождаются в конце такта производства, появляются ограничения на не превышение занимаемыми средствами производства и работниками имеющихся в наличии у производителя.

Для получения уравнений динамики рассматриваемого операционного игрового взаимодействия необходимо записать систему (1) при заданных базовых и аналитических счетах и при проведении описанных операций. Операторные действия (типа инновационно-модернизационных операций) в рассматриваемой операционной игре отсутствуют. Каждое уравнение системы (1) определит изменение сальдо некоторого базового счёта за текущий такт времени в силу проведенных за этот такт операций. Аналитические счета носят вспомогательный характер, их сальдо определяются исходя из сальдо базовых счетов.

Сальдо счетов игроков, учитывающих находящиеся в их распоряжении сырье и материалы, средства производства, предметы потребления, изменяются в результате амортизации (процент амортизации средств производства и предметов потребления для начала будем считать одинаковым и равным %%), амортизацию сырья и материалов учитывать не будем), проведения соответствующих производственных, потребительских и обменных операций. Счета, учитывающие произведенные игроками услуги, изменяются в результате соответствующих производственных операций, учитывающие использованные игроками услуги, - в результате соответствующих обменных и потребительских операций. Счета, учитывающие нанятых игроками работников разных квалификационных групп, изменяются в результате обменных операций по закупке труда. Счета денежных средств игроков изменяются в результате проведения соответствующих обменных, кредитных и налоговых операций. Конкретно, запись системы (1) для рассматриваемого операционного игрового взаимодействия приводит к следующей системе соотношений:

$$\begin{aligned}
 & x_i^j(t+1) \\
 &= x_i^j(t) + v1_i^j(t) - \sum_{q=1}^k me1_{iq}^j \cdot v1_q^j(t) - \sum_{q=1}^l me2_{iq}^j \cdot v2_q^j(t) - \sum_{q=1}^m me3_{iq}^j \cdot v3_q^j(t) - \sum_{q=1}^n me4_{iq}^j \cdot v4_q^j(t) \\
 & - \sum_{q=1}^N V1_i^{jq} + \sum_{q=1}^N V1_i^{qj} \\
 & i = 1, \dots, k \quad j = 1, \dots, N \\
 & y_i^j(t+1) = y_i^j(t)(1 - \%%) + v2_i^j(t) - \sum_{q=1}^N V2_i^{jq} + \sum_{q=1}^N V2_i^{qj} \\
 & i = 1, \dots, l \quad j = 1, \dots, N \\
 & z_i^j(t+1) = z_i^j(t)(1 - \%%) + v3_i^j(t) - \sum_{q=1}^N V3_i^{jq} + \sum_{q=1}^N V3_i^{qj} - vp_i^j(t)
 \end{aligned}$$

$$i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, N$$

$$us_i^j(t+1) = us_i^j(t) + v4_i^j(t) \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, N$$

$$ub_i^j(t+1) = ub_i^j(t) + vu_i^j(t)$$

$$vu_i^j(t) = v4_i^j(t) - \sum_{q=1}^N V4_i^{jq} + \sum_{q=1}^N V4_i^{qj} - vu_i^j(t)$$

$$i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, N$$

$$Q^j(t+1) = Q^j(t) + \sum_{q=1}^N QCR_j^q(t) - \sum_{q=1}^N QCR_q^j(t) - \%_{pr} \cdot pr^j(t) + (1 - \%_{sp}) \cdot (sal^j(t) - pur^j(t)) - \% \cdot (ap^j(t) - ar^j(t))$$

$$j = 2, \dots, N$$

$$Q^1(t+1) = Q^1(t) + \sum_{q=1}^N QCR_1^q(t) - \sum_{q=1}^N QCR_q^1(t) - \% \cdot (ap^1(t) - ar^1(t)) + sal^1(t) - pur^1(t) + \sum_{q=2}^N \%_{pr} \cdot pr^q(t) + \sum_{q=2}^N \%_{sp} \cdot (sal^q(t) - pur^q(t))$$

$$w_i^2(t+1) = w_i^2(t) \quad i = 1, \dots, r$$

$$w_i^j(t) = \sum_{q=1}^N V5_i^{jq} - \sum_{q=1}^N V5_i^{jq}$$

$$i = 1, \dots, r \quad j = 1, 3, \dots, N$$

$$ar^j(t+1) = ar^j(t) + \sum_{q=1}^N QCR_q^j(t) \quad j = 1, \dots, N$$

$$ap^j(t+1) = ap^j(t) + \sum_{q=1}^N QCR_j^q(t) \quad j = 1, \dots, N$$

$$pr^j(t+1) = pr^j(t) \cdot (1 - \%)\% - \sum_{i=1}^k \sum_{q=1}^N V1_i^{jq} \cdot C1_i^{jq} + \sum_{i=1}^k \sum_{q=1}^N V1_i^{qj} \cdot C1_i^{qj} - \sum_{i=1}^l \sum_{q=1}^N V2_i^{jq} \cdot C2_i^{jq} + \sum_{i=1}^l \sum_{q=1}^N V2_i^{qj} \cdot C2_i^{qj} + \sum_{i=1}^m \sum_{q=1}^N V3_i^{jq} \cdot C3_i^{jq} + \sum_{i=1}^m \sum_{q=1}^N V3_i^{qj} \cdot C3_i^{qj}$$

$$j = 1, \dots, N$$

$$sal^j(t) = \sum_{i=1}^k \sum_{q=1}^N V1_i^{jq} \cdot C1_i^{jq} + \sum_{i=1}^l \sum_{q=1}^N V2_i^{jq} \cdot C2_i^{jq} + \sum_{i=1}^m \sum_{q=1}^N V3_i^{jq} \cdot C3_i^{jq} + \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^N V4_i^{jq} \cdot C4_i^{jq} + \sum_{i=1}^r \sum_{q=1}^N V5_i^{jq} \cdot C5_i^{jq} \quad j = 1, \dots, N$$

$$pur^j(t) = \sum_{i=1}^k \sum_{q=1}^N V1_i^{qj} \cdot C1_i^{qj} + \sum_{i=1}^l \sum_{q=1}^N V2_i^{qj} \cdot C2_i^{qj} + \sum_{i=1}^m \sum_{q=1}^N V3_i^{qj} \cdot C3_i^{qj} + \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^N V4_i^{qj} \cdot C4_i^{qj} + \sum_{i=1}^r \sum_{q=1}^N V5_i^{qj} \cdot C5_i^{qj} \quad j = 1, \dots, N$$

$$x_i^j(t) \geq 0 \quad i = 1, \dots, k \quad j = 1, \dots, N \quad (4)$$

$$y_i^j(t) \geq 0 \quad i = 1, \dots, l \quad j = 1, \dots, N$$

$$z_i^j(t) \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, N$$

$$us_i^j(t) \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, N$$

$$ub_i^j(t) \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, N$$

$$Q^j(t) \geq 0 \quad j = 1, \dots, N$$

$$w_i^2(t) \geq 0 \quad i = 1, \dots, r$$

$$w_i^j(t) \geq 0 \quad i = 1, \dots, r \quad j = 1, 3, \dots, N$$

$$\begin{aligned}
y_i^j(t) &\geq \sum_{q=1}^k fe1_{iq}^j \cdot v1_q^j(t) - \sum_{q=1}^l fe2_{iq}^j \cdot v2_q^j(t) - \sum_{q=1}^m fe3_{iq}^j \cdot v3_q^j(t) - \sum_{q=1}^n fe4_{iq}^j \cdot v4_q^j(t) \\
i &= 1, \dots, l \quad j = 1, \dots, N \\
w_i^j(t) &\geq \sum_{q=1}^k te1_{iq}^j \cdot v1_q^j(t) - \sum_{q=1}^l te2_{iq}^j \cdot v2_q^j(t) - \sum_{q=1}^m te3_{iq}^j \cdot v3_q^j(t) - \sum_{q=1}^n te4_{iq}^j \cdot v4_q^j(t) \\
i &= 1, \dots, r \quad j = 1, \dots, N \\
vp_i^j(t) &\geq VP_i^j \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, N \\
vu_i^j(t) &\geq VU_i^j \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, N.
\end{aligned}$$

Здесь полагается, что жизненно необходимое потребление предметов и услуг все игроки себе обеспечивают. Рождаемость, смертность и обучение не учитываются. Поэтому введены последние два ограничения и зафиксировано, что числа работников разной квалификации у 2-го игрока не меняются. Далее, в более развитых моделях, конечно, должны учитываться и естественная рождаемость и смертность, и возможность обучения, и смертность в связи с необеспечением необходимого потребления.

Система (4) определяет динамику рассмотренного операционного игрового взаимодействия описанных  $N$  игроков в зависимости от их выборов по всем операциям по ходу этого взаимодействия:

$$\begin{aligned}
v1_i^j(t) \quad i &= 1, \dots, k \quad j = 1, \dots, N \\
v2_i^j(t) \quad i &= 1, \dots, l \quad j = 1, \dots, N \\
v3_i^j(t) \quad i &= 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, N \\
v4_i^j(t) \quad i &= 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, N \\
V1_i^{jq}, C1_i^{jq} \quad V2_i^{jq}, C2_i^{jq} \quad V3_i^{jq}, C3_i^{jq} \quad V4_i^{jq}, C4_i^{jq} \quad V5_i^{jq}, C5_i^{jq} \\
vp_i^j(t) \quad i &= 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, N \quad vu_i^j \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, N \\
QCR_q^j(t) \quad j &= 1, \dots, N \quad q = 1, \dots, N
\end{aligned} \tag{5}$$

Налоги списываются безакцептно.

При этом информированность игроков и стратегии их поведения могут быть самыми различными. В отличие от сложившихся подходов к макроэкономическому моделированию с использованием уравнений материального и финансового баланса, в данном подходе в полной мере выдерживается строгость теоретико-игрового моделирования. Множества выборов игроков имеют ясный содержательный смысл. Возможно и понятно естественное углубление и развитие описанной модели с рассмотрением более сложных форм кредитования, других производственных функций, инвестиционных, инновационно-модернизационных (с использованием системы (2)), обучающих, здравоохранительных, демографических, природоохранных, просветительских, разрушительных операций, операций по проведению НИОКР.

### 3. Возможности использования операционного игрового сценарного моделирования

Методология операционного игрового сценарного моделирования может эффективно использоваться (и уже использовалась) для решения задач как микро-, так и макроэкономического характера.

И в микро- и в макроэкономике проводятся индивидуальные и совместные операции одного и того же принципиального содержания: обменные, производственные, инвестиционные, кредитные, НИОКР, инновационно-модернизационные, обучающие, здравоохранительные, природоохранные, налоговые, социальные, потребительские, разрушительные, реорганизационные, демографические. Этот перечень достаточно полный, трудно представить экономическое деяние, которое нельзя было бы отнести к одному из перечисленных типов операций.

В операционном игровом сценарном моделировании используются понятия «сценарное условие», «полное сценарное условие», «сценарий», «сценарный план».

Под сценарным условием понимается любая конечная последовательность записей вида (3), каждая из которых может относиться к любому из игроков или к реализации неопределенного фактора.

Под полным сценарным условием понимается сценарное условие, детерминирующее реализацию неопределенного фактора и выборы всех игроков, кроме одного (оперирующей стороны).

Сценарием называется совокупность полного сценарного условия и «оптимальной» (рациональной) стратегии оперирующей стороны при выполнении этого условия.

Сценарным планом называется совокупность сценариев одного из игроков, описывающая все возможные или практически интересные этому игроку реализации игрового взаимодействия.

Такой подход к сценарному анализу вполне универсален. Он также может использоваться как в микро-, так и в макроэкономическом моделировании.

### 4. Перспективы развития операционного игрового сценарного моделирования

Лежащая в основе рассмотренного подхода к математическому моделированию общественных процессов теория операционных игр может и должна развиваться как в прикладном, так и в фундаментальном направлениях.

Весьма интересны проблемы агрегирования счетов, действий, операций, игроков в операционных играх. Попробовать предложить соответствующие нормам научной строгости определения процедур агрегирования счетов и действий можно. Агрегирование счетов вполне аналогично консолидации счетов в бухгалтерском учёте. В связи с тем, что действие определено как зависящая от вектора управления вектор-функция перемещения в пространстве состояний игрового процесса, агрегатом (объединением) действий естественно считать сумму этих вектор-функций. Но как объединять вектора управлений объединяемых действий? Если посредством конкатенации, то при объединении достаточно большого числа действий эти вектора станут слишком большой размерности. Если унифицировать структуру вектора управления и считать размерность и смысл компонент этого вектора одинаковыми для всех операций, как преобразовывать при агрегировании действий их суммы и компоновать итоговый вектор управления так, чтобы итоговое действие, как вектор-функция, всегда являлось векторной суммой агрегируемых действий. И как трансформироваться действия при агрегировании пространства состояний игры? При разработке точных определений процедур агрегирования операций и игроков возникают еще более сложные и интересные вопросы.

Важным направлением исследований могло бы стать более глубокое изучение вопросов информированности и информационных обменов, блефа, неопределённости природного характера, принципов оптимальности, стратегий поведения в операционных играх. Равно как и вопросов коалиционного взаимодействия.

### Выводы

Методология операционного игрового сценарного моделирования появилась как результат обобщения многих подходов к экономико-математическому моделированию и уже к настоящему моменту показала себя как эффективный инструмент точного описания и исследования общественных процессов. Эта методология может активно использоваться и требует дальнейшего развития как в фундаментальном, так и в прикладном направлении. Обобщающий характер предложенного в её рамках класса игровых моделей позволяет говорить о создании нового поколения платформ генерации информационно-аналитических систем поддержки микро- и макроэкономических решений.

### Литература

1. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение, пер. с англ., Москва, Россия: Наука, 1970, - 707 стр.
2. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. М.: Наука. 1971. – 384 с.
3. Гермейер Ю.Б. Игры с противоположными интересами. М.: Наука, 1976. 328 с.
4. Гермейер Ю.Б., Ватель И.А. Игры с иерархическим вектором интересов // Техническая кибернетика. 1974. №3. С. 54-69.
5. Ерешко Ф.И. Иерархические компромиссы при общих связях и параллельных угрозах. М.: ВЦ АН СССР, 1984. – 18 с.
6. Кононенко А.Ф. О многошаговых конфликтах с обменом информацией // ЖВМ и МФ, 1977, Т. 17, №4. С. 922-931.
7. Горелик В.А., Горелов М.А., Кононенко А.Ф. Анализ конфликтных ситуаций в системах управления. М.: Радио и связь, 1991. 288 с.
8. Петров А.А. Об экономике языком математики. М.: ФАЗИС, ВЦ РАН, 2003. 112 с.
9. Бурков В.Н. Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма. М.: Наука, 1984.
10. Павловский Ю.Н. Имитационные модели и системы. М.: ФАЗИС, ВЦ РАН, 2000. 134 с.
11. Бродский Ю.И. Модельный синтез и модельно-ориентированное программирование. М.: ВЦ РАН, 2013. 142 с.
12. Кононенко А.Ф., Шевченко В.В. Задачи управления производственными корпорациями и операционные игры. М.: ВЦ РАН, 2004, - 42 с.
13. Кононенко, А.Ф., Шевченко В.В. Операционные игры. Теория и приложения. Москва, Россия: ВЦ РАН, 2013, - 136 стр.
14. Ерешко Ф.И., Шевченко В.В. Принципы и процедуры операционного игрового сценарного моделирования. Материалы из ВСПУ-2014. Москва, Россия: ИПУ РАН, 2014, стр. 5364-5374.
15. Матвеева Л.К., Ковалев А.М., Кононенко А.Ф., Косенкова С.Т., Шевченко В.В. Применение аппарата операционного игрового моделирования для разработки сценарного плана развития промышленной деятельности. М.: Научно-технический сборник «Вопросы оборонной техники», серия 3, выпуск 1 (338), 2007, стр. 19-27.
16. Кононенко А.Ф., Шевченко В.В. Методология сценарного игрового операционного моделирования социально-экономических процессов, представленная на примере сценарного прогнозирования развития промышленного комплекса г. Москвы. М.: Научно-технический сборник «Вопросы оборонной техники», серия 3, выпуск 2 (339), 2007, стр. 44-53.
17. Chursin A.A., Shevchenko V.V., About the possibilities of operational gaming scenario modeling activities of enterprises and corporations. IEEE Xplore Digital Library. Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2017. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109609/>

18. Ostrovskaya A.A., Shevchenko V.V. About the possibilities of classic and operational gaming modeling in support of decision-making on the management of enterprises and corporations. IEEE Xplore Digital Library. Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2017. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109666/>
19. Shevchenko V.V., About the possibilities of the operational gaming simulation of the processes of logistic interactions // 12th Int. Conf. Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2019. DOI: 10.1109/MLSD.2019.8911114
20. Shevchenko, Vasiliy V.; Kokuytseva, Tatiana V., Ovchinnikova, Oksana P., Competitiveness of the Enterprises of the Eurasian Economic Union: Assessment Methodology. Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015 Vol. 40 (N° 37) Year 2019, pp. 15-22.
21. Shevchenko V.V., On the construction and analysis of macroeconomic operating game models. IEEE Xplore Digital Library. Eleventh International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2018. DOI: 10.1109/MLSD.2018.8551764 *Psychologie Sociale*. 2010. № 2 (86). P. 241 —274. <https://www.cairn.info/revue-les-cahiers->

#### References in Cyrillics

1. Neyman J., Morgenstern, O., Theory of games and economic behavior, translated from English. Moscow, Russia: Nauka, 1970, - 707 p.
2. Hermeyer Yu. B., Introduction to the theory of operations research. Moscow: Nauka. 1971 - 384 p.
3. Hermeyer Yu. B., Games with non-contradictory interests. Moscow: Nauka, 1976, 328 p.
4. Hermeyer, Yu. B., Vatel I.A., Games with a hierarchical vector of interests // Moscow, Technical Cybernetics, 1974, №3. pp. 54-69.
5. Ereshko F. I., Hierarchical compromises in General relations and parallel threats. Moscow: CC of the USSR Academy of Sciences, 1984, - 18 p.
6. Kononenko A. F., On multistep conflicts with information exchange // Journal of computational mathematics and mathematical physics, 1977, Vol. 17, No. 4, pp. 922-931.
7. Gorelik V. A., Gorelov M. A., Kononenko A. F., Analysis of conflict situations in control systems. Moscow: Radio and communications, 1991, 288 p.
8. Petrov A. A., On Economics in the language of mathematics. Moscow: FAZIS, CC RAS, 2003, 112 p.
9. Burkov V. N., Theory of active systems and improvement of economic mechanism. Moscow: Nauka, 1984.
10. Pavlovsky Yu. N., The simulation model and the system. Moscow: FAZIS, CC RAS, 2000, 134 p.
11. Brodsky Yu. I., Modelniy sintez I modelno-orientirovannoe programmirovaniye. Moscow: CC RAS, 2013, 142 p.
12. Kononenko A. F., Shevchenko V. V., Problems of management of production corporations and operational games. Moscow: CC RAS, 2004, - 42 p.
13. Kononenko, A. F., Shevchenko V. V., Operational games. Theory and applications. Moscow: CC RAS, 2013, - 136 p.
14. Ereshko F. I., Shevchenko V. V., Principles and procedures of operational game scenario modeling // Materials from VSPU-2014. Moscow, Russia: IPC RAS, 2014, pp. 5364-5374.
15. Matveeva L. K., Kovalev A.M., Kononenko A. F., Kosenkova S. T., Shevchenko V. V., Application of the operational game modeling apparatus for developing a scenario plan for the development of industrial activities. Moscow: Scientific and technical collection "Questions of defense technology", series 3, issue 1 (338), 2007, pp. 19-27.
16. Kononenko A. F., Shevchenko V. V., Methodology of scenario game operational modeling of socio-economic processes, presented on the example of scenario forecasting of the development of the industrial complex of Moscow. Moscow.: Scientific and technical collection "Questions of defense technology", series 3, issue 2 (339), 2007, pp. 44-53.
17. Chursin A.A., Shevchenko V.V., About the possibilities of operational gaming scenario modeling activities of enterprises and corporations. IEEE Xplore Digital Library. Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2017. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109609/>
18. Ostrovskaya A.A., Shevchenko V.V. About the possibilities of classic and operational gaming modeling in support of decision-making on the management of enterprises and corporations. IEEE Xplore Digital Library. Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2017. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109666/>
19. Shevchenko V.V., About the possibilities of the operational gaming simulation of the processes of logistic interactions // 12th Int. Conf. Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2019. DOI: 10.1109/MLSD.2019.8911114
20. Shevchenko, Vasiliy V.; Kokuytseva, Tatiana V., Ovchinnikova, Oksana P., Competitiveness of the Enterprises of the Eurasian Economic Union: Assessment Methodology. Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015 Vol. 40 (N° 37) Year 2019, pp. 15-22

21. Shevchenko V.V., On the construction and analysis of macroeconomic operating game models. IEEE Xplore Digital Library. Eleventh International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2018. DOI: 10.1109/MLSD.2018.8551764

Шевченко В. В., Вычислительный центр им. А. А. Дородницына  
ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва)  
*Vasiliy Shevchenko (vsh1953@mail.ru)*

**Ключевые слова**

Теория игр, исследование операций, микроэкономика, макроэкономика, сценарное моделирование, информационно-аналитические системы, цифровая платформа.

***Vasiliy Shevchenko. Operational game scenario modeling of economic processes***

**Keywords**

Game theory, operations research, microeconomics, macroeconomics, scenario modeling, information and analytical system, digital platform.

DOI: 10.34706/DE-2021-03-03

JEL classification: C02

**Abstract**

The basic concepts of the original approach to game-theoretic modeling of micro - and macro-economic interactions, tested on solving many problems of an applied nature, are considered. The general equations of dynamics of operational game interactions used in this approach are given. By the example of forming a system of equations and inequalities of the material and financial balance for an autarkic macro-economic model when conducting only production, exchange, credit, consumer and ax operations, the process of concretizing general equations for particular operational game interactions is demonstrated. The possibilities of practical application and prospects for the development of operational game scenario modeling are considered I.