УДК 519.8

ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭВРИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПРИКЛАДНЫХ СИСТЕМ

Полумиенко С. К.

ОАО «Институт прикладной информатики»,
г. Киев, Украина

АННОТАЦИЯ

В статье излагаются основные результаты создания единого математического аппарата моделирования и анализа сложных прикладных систем при неполной информации на базе многоуровневых коалиционных динамических игр.

Проблема исследования закономерностей поведения и развития общества всегда занимала центральное место в различных областях науки, каждая из которых по-своему интерпретировала цели, задачи и оптимальные способы развития общества и его управления. Делаются успешные попытки все более детального его отображения и изучения, позволяющие найти состоятельные частично оптимальные решения, прогнозы развития. С позиций информатики проблема оптимизации развития социумов в их непосредственной связи с окружающей средой и производством находит все больше решений для разного рода прикладных задач, в том числе и глобального характера. Выделен основной объект - эколого-экономическая система, - базовая конструкция для описания практически любой сложной прикладной системы, в рамках исследования которого изучаются последствия развития тех или иных тенденций, управленческих решений, случайных воздействий и т. д.
Другими словами, делаются попытки математического исследования ноосферы В.И. Вернадского, направленные на реализацию программных методов оптимизации ее эволюции, учитывающей как жизненно важные интересы людей, связанные с окружающей природой, так и интересы, отражающие обеспечение жизнедеятельности - создание и развитие разных видов производства и его инфраструктуры.

Цель данной работы – изложение основных результатов разработки единого аппарата для моделирования и анализа эколого-экономических систем, позволяющего отобразить детерминированные, случайные, противоречивые факторы их развития и найти способы оптимального управления эколого-экономическими системами на основе информационных технологий. Имеется в виду выделение понятий оптимальных состояний системы, построение алгоритмов и программных средств их нахождения, оценки последствий управленческих решений, стратегий выхода из сложившихся ситуаций с учетом следующих факторов:
- реализация оптимальных состояний природной среды биогеоценоза и удовлетворение жизненных интересов проживающего в нем населения;
- реализация оптимального развития производства в рамках выделенного биогеоценоза или удовлетворение интересов жизнеобеспечения его населения;
- сочетание макро- и микро- подходов при относительной автономности подсистем и объектов, что позволяет детально рассмотреть и найти оптимальные стратегии развития эколого-экономической системы при разного рода детерминированных и случайных воздействиях;
- определение эффективных методов анализа и оптимизации эколого-экономических систем.

Данная статья является продолжением работ [1-2], где рассмотрены многоуровневые расширения коалиционных игр и коалиционные стохастические игры (там же читатель сможет найти основные определения). Эти классы игр обосновывают построение многоуровневых коалиционных динамических игр, подыгры которых могут иметь детерминированную или стохастическую форму. В статье рассматриваются условия, при которых эти игры имеют решение в классе точных алгоритмов.

Определение 1. Пусть задана игра

$$G(t) = < G_L(t), G_C(t), G_S(t), G_U(t), p=1,..,p_0 , t\in[t_0, T]>, \qquad (1)$$

где: $G_L(t)$ - игра, описывающая взаимодействие между уровнями игры *p*, $G_C(t)$ - игра, описывающая кооперативную составляющую игры (1), причем $G_L(t)$, $G_C(t)$ заданы в виде игры [3]. Игра $G_S(t)$ описывает стратегическую составляющую (1) и задана в виде коалиционной игры [4]; $G_U(t)$ - оценку реализации исходных интересов игроков и задана как игра [3]. Игру (1) будем называть многоуровневой коалиционной динамической стохастической (МКД-) игрой в общей форме, заданной на отрезке $[t_0, T]$.

Полное описание игры, ее элементов и правил приведено в [1-2]. Там же определены условия, при которых игра (1) имеет оптимальное решение, образующееся на основе объединения понятий вектора Шепли [3] и ϕ^*-устойчивости по Н.Н. Воробьеву [4]. Но, ввиду того, что нахождение ϕ^*-устойчивых ситуаций опирается на теорему о неподвижной точке, решение не может быть найдено в классе точных алгоритмов.

Практический опыт построения моделей эколого-экономических систем подсказывает другие предпосылки, при которых может быть выполнено и последнее требование.
Во-первых, анализ системы выполняются некоторым лицом, функциями которого является задание параметров системы и ее модели, критериев оценки и оптимальных с его точки зрения состояний системы или же других характеристик ее приемлемого развития.
Во-вторых, процесс описания стратегий, тем более их смешанных расширений, представляет собой довольно громоздкую работу. Причем, потеря отдельных стратегий приводит к изменению полученной ситуации, которая, являясь ϕ^*-устойчивой, не будет отвечать оптимальному развитию системы и приводить к неправильным решениям.
В-третьих, определение ϕ^*-устойчивой ситуации отражает стратегии без учета их содержательной интерпретации, тем самым, если в системе преобладает множество разрушающих стратегий, то согласно определению ϕ^*-устойчивости, найдя ϕ^*-устойчивую ситуацию, мы найдем способ оптимального разрушения системы, что противоречит здравому смыслу.

Будем полагать, что при моделировании системы в виде МКД-игры учтены все ее элементы, и что они заданы в виде игроков или коалиций, для которых указаны их допустимые чистые стратегии. Интересы игроков заключаются в увеличении влияния на систему, что достигается через контролируемые игроком компоненты системы. Естественно, что игрок не может увеличивать его беспредельно ввиду воздействия других игроков.

Будем определять воздействия игроков по созиданию или разрушению баланса исследуемой системы, полагая, что чистая предстратегия [1] игрока состоит в указании величины какой-либо характеристики контролируемой им компоненты системы.
Одновременно с выполнением своей предстратегии или некоторого элементарного действия игрок отнимает или прибавляет к контролируемым другими игроками или коалициями компонентам системы некоторые величины, изменяющие их чистые предстратегии. Возникающая ситуация клинча из-за взаимной зависимости предстратегий разрешается предположением о задании очередности выполнения стратегий.

Пусть $PS_I(t) = \{PS_i(t)\}_{i\in I}$, - множество предстратегий всех игроков коалиционной составляющей уровня p МКД-игры в момент времени $t\in[t_0, T]$ и $ps_{i,m}(t)\in PS_i(t)$ - действительная функция, отождествляемая с m-той предстратегией игрока i, выполняемой им в момент времени t, принадлежащий интервалу $[t_l, t_{l+1})$ разбиения отрезка $[t_0,T]$, и стратегия игрока есть вектор

$$s_i(t_k) = (ps_{i,1}(t_k),.., ps_{i,M}(t_k)). \tag{2}$$

Тем самым, предстратегии $ps_{i,m}(t_k)$ указывают последствия для компоненты m (ее восстановление или разрушение) от стратегии $s_i(t_k)$ в момент t_k. Аналогично $s_i(t_k)$ образуются и коалиционные стратегии [4]. Предстратегия коалиции K, относящаяся только к компоненте m, тогда состоит из набора предстратегий $ps_{i,m}(t_k)$ по $i\in K$.

Ситуация $S(t_k)$ есть набор векторов вида (2), длина которого определяется числом индивидуальных игроков и коалиций. Будем полагать, что длина вектора $s(t_k)$ совпадает с числом компонент системы $c_m(t_k)$, обозначая ее через M, $c_m(t_k)\in R^1$ - значение компоненты m, m=1,..,M, в момент времени t_k после реализации ситуации $s(t_k)$, $c_m(t_0)$ = const,

$$c_m(t_k) = \Sigma\, ps_{i,m}(t_k) + c_m(t_{k-1}). \tag{3}$$

Предположим далее, что задана и фиксирована на интервале $[t_l,t_{l+1})$ коалиционная цепочка $CK(t_k)$ [5], т.е. набор коалиций и индивидуальных игроков, задающий очередность выполнения их предстратегий. Предположение о фиксации $CK(t_k)$ для каждого t не вносит существенных ограничений, т.к. при описании системы на практике можно считать такую очередность известной или описать ее как параметр. Тем самым, предстратегия каждого последующего элемента цепочки $CK(t_k)$ зависит от предстратегии предыдущего элемента.
Функции выигрыша коалиции K в ситуации $S(t_k)$ можно определить как

$$H_K\, s(t_k)) = \Sigma\, g_K(S(t_k))c(t_k), \tag{4}$$

где $g_K(S(t_k))c(t_k)$ - некоторые функции, указывающие долю по компоненте m, априори требуемую или добавляемую коалицией K в ситуации $S(t_k)$ и зависящую от стратегий K и других коалиций и игроков. Предполагается, что выигрыши выражены в одинаковых величинах и суммируемы.

Величины $g_K(S(t_k))c(t_k)$, естественно, отличаются от реальной доли коалиции, получаемой после розыгрыша ситуации $S(t_k)$, в том числе в ϕ^*-устойчивой ситуации, в которой функции выигрыша определяются на смешанных стратегиях. Пусть μ-марковское продолжение согласованного семейства случайных переходов [4, 6-8]. Тогда, (4) имеют вид:

$$H_K(\mu\,(S(t_k))) = \Sigma H_K(S(t_k))\,\mu\,(S(t_k)), \tag{5}$$

где сумма берется по множеству чистых ситуаций.
Функции (5) указывают выигрыши в ϕ^*-устойчивой ситуации, и, если такая ситуация найдена, то выражают некоторое оптимальное поведение. Но при этом не может быть построен алгоритм ее нахождения.
Уточним понятие оптимальности.

Определение 2. Вектор $c^*(t_k)=(c_1(t_k),.., c_m(t_k))$ значений компонент системы, задаваемых предстратегиями $PS_I(t)$ в ϕ^*-устойчивой ситуации $\mu(s(t_k))$, будем называть ϕ^*-устойчивым балансом системы, а ситуацию $\mu(s(t_k))$ - ситуацией ϕ^*-устойчивого баланса в момент времени t_k.
На практике баланс системы может быть определен и на основе более простых соотношений, задаваемых, например, предельно допустимыми концентрациями вредных веществ.

Определение 3. Пусть C - некоторые заданные подмножества значений $c_m(t_k)$. Вектор компонент $c^\#(t) = (c_1(t_k),.., c_M(t_k))$, в котором для всех m=1,..,M выполняется $c(t_k)\in C$, будем называть оптимальным балансом системы в момент времени t_k, а ситуацию $s^\#(t_k)$, соответствующую $c^\#(t_k)$, - ситуацией оптимального баланса.

Теорема 1. Для того, чтобы в МКД-игре ситуация оптимального баланса была ситуацией ϕ^*-устойчивого баланса, необходимо и достаточно, чтобы игрок уровня p+1 назначал предстратегии уровня p так, что для всех i и $ps_i(t) \in PS_I(t)$ справедливо

$$A_i \le CD_i(t_k) \le B_i, \tag{6}$$

где A_i, B_i – соответственно нижняя и верхняя границы отрезка изменения значений стратегий игрока $CD_i(t_k)$.

Заметим, что в [4] подразумевается, что игрок, входящий в разные коалиции, может использовать в них различные стратегии, хотя из условия согласованности следует, что он может иметь лишь единственную стратегию. В нашем случае это реализуется с помощью введения предстратегий, которые игроки могут выполнять в разных коалициях и поэтому правомерно следующее ниже определение выигрышей по компонентам системы.

Теорема 2. Если для коалиционной составляющей МКД-игры выполнено условие существования равновесия по Нэшу [9], то эта ситуация является ϕ^*-устойчивой в смысле коалиционной составляющей МКД-игры (1).

На основе теорем 1 и 2 построена процедура разложения коалиционной игры (уровня p МКД-игры) по компонентам системы m=1,..,M на матричные игры. Ее ограничениями являются предположения: о задании однозначного соответствия между предстратегиями и компонентами системы; о стохастической независимости игроков и их стратегий; об изменении компоненты системы в соответствии с коалиционной цепочкой (прохождения) игры $CK(t_k)$.

Процедура включает следующие этапы.

1) Выделение стратегий игроков и коалиционных стратегий, компоненты которых нарушают оптимальность баланса.

2) Формирование и решение матричной игры на компонентах m.

3) Определение выигрышей игроков и коалиций через функции базисной МКД-игры и функции выигрыша образованных матричных игр.

В результате выполнения процедуры от исходной МКД-игры можем перейти к классу иерархических бескоалиционных игр (см., например, [10]), допускающих решение в классе точных алгоритмов. Возможно построение и других условий существования устойчивых ситуаций на основе введения информационных расширений игры, ее позиционной или многошаговой структур.

Для решения моделей, построенных на базе МКД-игр, предложено расширение алгоритма вычисления оценок Ю.И. Журавлева, позволяющее формировать обучающую и контрольную информацию, а также выполняющее функции решающего правила по оценкам, построенным стандартным распознающим оператором. Также в схему алгоритма включен алгоритм формирования памяти системы решения задач. Данный алгоритм является одним из алгоритмов манипулирования образуемой далее памяти системы. Память формируется на основе формального представления алгоритмов и решений задач, и интерпретируется как расширенная обучающая информация некоторой алгоритмической системы, призванной решать задачи анализа и оптимизации. Показано существование корректного алгоритма решения задач в этой алгоритмической системе. Как наборы базисных задач анализа системы вводятся и описываются аппроксимации, которыми представляются реальные прикладные задачи.

Разработанный аппарат использован при создании программных систем анализе и оптимизация городских пассажирских перевозок и инвестиционной деятельности.
Для первой из этих задач программно реализованы алгоритмы анализа пассажирских перевозок, основными из которых являются алгоритм анализа изменений пассажиропотоков, алгоритм вычисления расчетных пассажиропотоков, лежащие в основе процедуры оценки последствий изменения маршрутов, включая задачи оптимального распределения транспортных средств по маршрутам, распределения ресурсов по итогам выполнения плановых и фактических объемов перевозок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полумиенко С.К. О расширениях коалиционных игр // Кибернетика и системный анализ. - 1992. - N 1. - С. 107 - 115.
2. Полумиенко С.К. Коалиционные стохастические игры // Кибернетика и системный анализ. - 1993. - № 1. - С. 82 - 93.
3. Ауман Р., Шепли Л. Значения для неатомических игр. - М.: Мир, 1977. - 357 с.
4. Воробьев Н.Н. Коалиционные игры // Теория вероятностей и ее применения. - 1967. - Т. XII. - № 2. - S. 71 - 85.
5. Кондратьев А.И. Теоретико-игровые модели в задачах распознавания. - М.: Наука, 1986. - 324 с.
6. Воробьев Н.Н. Согласованные семейства мер и их продолжения // Теория вероятностей и ее применения. - 1962. - Т. VII. - № 2. - С. 153 - 169.
7. Воробьев Н.Н. Марковские меры и марковские продолжения // Теория вероятностей и ее применения. - 1963. -Т.VIII. -№4. -С.451-462.
8. Воробьев Н. Н. О семействе случайных переходов // Теория вероятностей и ее применения. - 1964. - Т. IX. - № 1. - С. 53 - 71.
9. Воробьев Н.Н. Бескоалиционные игры. - М.: Наука, 1984. -496 с.
10. Горелик В.А., Кононенко А.Ф. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. - М.: Радио и связь, 1982. - 144 с.