

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ КОРПОРАТИВНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЕЕ СОСТОЯНИЯ

Т.В. КОЗУЛЯ, Н.В. ШАРОНОВА

Изложены теоретико-практические обоснования необходимости и целесообразности введения в систему принятия управленческого решения корпоративной экологической системы. Показана ее структура. Предложены математические подходы к определению характеристик состояния этой системы, а как меру качества принятия управленческого решения в системе экологического мониторинга использовать энтропию.

В настоящее время актуально исследование задачи оптимального управления корпоративной экологической системой (КЭС) — объединением (одна из форм целостной системы) трех систем: экологической (природной), социальной и экономической, функционирование и эволюция которых подчинены динамическому экологическому равновесию, гомеостазу как постоянству внутренней среды и устойчивости целостной структуры [1].

Большинство экспертов по проблемам защиты окружающей среды рекомендуют создать систему постоянного мониторинга и обновления природных систем для снижения антропогенных нагрузок [2]. Однако эволюция существующих мезаструктур (природной, экономической и социальной) неизбежна. Экономические мероприятия (создание систем экострахования, международное сотрудничество, компенсация пострадавшему населению и т.д.) и законодательные меры (законы, инструкции, рекомендации и т.д.) не могут решить проблем экологического характера без вмешательства в развитие не только природной, но и экономической, социальной систем. Решение макроэкологической задачи, т.е. задачи экологизации пространства внутри каждой из составляющей КЭС, возможно при условии создания математической модели корпоративной системы, разработки теории оптимизации управления этой системой на основе выбора универсальных критериев и параметров состояния КЭС и ее составляющих.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Создание математической модели КЭС на основе универсальных термодинамических характеристик состояния системы и разработка теории идентификации ее состояния с использованием метода компараторной идентификации.

На данном этапе исследований рассмотрены и решены следующие задачи.

1. Разработка математической модели состояния КЭС с использованием элементов термодинамического анализа, синергетики и апостериорной модели оптимизации управления.

2. Теоретическое обоснование и практическое использование энтропии и информативности как критериев идентификации состояния КЭС и оптимизации корпоративного экологического управления.

3. Идентификация состояния КЭС и ее составляющих с применением метода компараторной идентификации.

СУЩНОСТЬ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно существующим подходам полная модель эколого-экономической системы содержит математическое описание четырех взаимосвязанных компонентов [3]:

- 1) социально-экономическая подсистема;
- 2) природная подсистема экосистемы;
- 3) антропогенное воздействие на природную среду и оценка ее последствий;
- 4) влияние природных факторов на жизнедеятельность общественного здоровья человека.

Исследование математического моделирования в этой области ориентировалось на описание динамики экологических систем в условиях антропогенного воздействия [2–4]. Формализованная модель поведения экосистемы в естественном состоянии описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений

$$\frac{dx}{d\tau} = f(\tau, x(\tau)),$$

где $x(\tau)$ — вектор-функция состояния экосистемы, а учет антропогенного воздействия означает переход к системе

$$\frac{dx}{d\tau} = f(\tau, x(\tau), \mu(\tau)), \quad (1)$$

где $\mu(\tau)$ — обобщенная характеристика воздействия [3].

Для построения модели типа (1) требуется изучить все необходимые физико-химические, биологические, экономические, технические и социальные факторы. При исследовании процессов загрязнения анализируются информация о количестве и расположении источников загрязнения, составе и динамике выбросов, закономерностях перемещения и трансформации загрязняющих веществ в различных геофизических средах, возможности самоочищения элементов биосферы, а также ответная реакция биоты, меры по контролю и предотвращению загрязнения, что составляет естественный подход к анализу четвертого аспекта эколого-экономического взаимодействия [3].

Сегодня приоритеты отдаются не столько предотвращению нежелательных преобразований или деградации природных систем как таковых, сколько преодолению последствий этих изменений для человека и общества в целом, а критерий «экологическое благополучие» остается социально определяющим.

Функционирование эколого-экономической системы при $\mu(\tau) = \left(y(\tau), \frac{dy}{d\tau} \right)$ имеет вид

$$\begin{cases} dx/d\tau = f(\tau, x(\tau), y(\tau), dy/d\tau), \\ dy/d\tau = q(\tau, y(\tau), x(\tau), dx/d\tau), \end{cases} \quad (2)$$

где $y(\tau)$ — вектор-функция состояния социально-экономической системы [3].

Основные аспекты таких моделей носят социально-экономический характер и связаны с высокой размерностью и сложностью информационного обеспечения. Эти модели имеют блочную структуру из сравнительно автономных систем, состояние которых характеризуется различным набором параметров.

Корпоративный подход к решению экологических задач заключается в гармонизации эволюции трех сложных термодинамических систем в виде единой мегасистемы на приоритетном экологическом начале. В отличие от рассмотренных выше направлений в моделировании сложных систем, одной из составляющих которых является экосистема, концепция КЭС предусматривает разработку и принятие решений, направленных на предотвращение деградации и нежелательных преобразований природных систем.

С учетом содержательной и математической сущностей задач и методов принятия многокритериальных решений [2] для КЭС возможно ввести символическое представление задачи принятия решения вида $\{X, S, R\}$, где X — множество входных сигналов; S — принцип оптимальности, исходя из достижения равновесного состояния подсистем КЭС и гомеостаза как экзо-, так и эндогенного; R — условия принятия решения на основе критерия оптимальности и учета неуправляемых факторов, влияющих на свойства альтернатив, таких как температура окружающей среды, влажность воздуха и т.п.

Условие принятия оптимального решения определяется на основе значений функций полезности оценок частных критериев, оптимизирующих состояние подсистем

$$u_i^*(f_i) = \frac{(f_i - f_{\min})}{(f_{i_{\max}} - f_{i_{\min}})}. \quad (3)$$

В этом случае лучшая альтернатива определяется лицом, принимающим решение (ЛПР), и является средством поддержки процессов принятия решения.

КЭС отличается особенностью характеристик своего состояния из-за множественности и неоднородности параметров для каждой из подсистем. Концепция КЭС позволяет унифицировать показатели идентификации состояния КЭС и ее подсистем при использовании основ термодинамического анализа. Согласно данному подходу КЭС — это целостная термодинамическая система, критерии состояния которой не просто характеризуют ее и каждую из подсистем, но и являются общими для принятия оптимального решения [1, 4, 5].

Для определения наиболее вероятного макросостояния используется не функция вероятности P , а ее энтропия, т.е. $S = C \ln P$, которая при больших N имеет вид

$$S = -\sum_{i=1}^n N_i \ln N_i + C_0. \quad (4)$$

В силу этого равновесное функционирование КЭС и всех ее подсистем в целом будет реализовано таким макросостоянием КЭС, которое соответствует максимуму энтропии.

Стохастический характер процессов в подсистемах корпоративной системы, согласно вероятностной структуре КЭС (4), предусматривает описание каждой из подсистем n макропараметрами (координатами состояния) $x_1(\tau), x_2(\tau), \dots, x_n(\tau)$. Энтропия состояния для таких систем

$$S_{(p,e,s)} = S_{dV}^{(p,e,s)}(x_1(\tau), \dots, x_n(\tau)). \quad (5)$$

Общее же состояние КЭС характеризуется значением

$$S(\tau) = \int_V S_{dV}^{(p,e,s)}(x_1(\tau), x_2(\tau), \dots, x_n(\tau)) dV, \quad (6)$$

где $S^{(p,e,s)}$ — энтропия состояния природной (экологической), экономической и социальной систем соответственно; dV — характеристика размера (объема) макросистем.

Протекание необратимых процессов в составляющих корпоративной системы, являющихся физико-химическими системами, обуславливает изменение энтропии $\Delta S_{dV} \geq 0$, что соответствует интенсивности нарастания энтропии в КЭС.

$$\sigma(\tau) = \frac{dS_{dV}}{d\tau} \geq 0 \quad \text{при } \tau \rightarrow 0. \quad (7)$$

Эта величина связана с вероятностью реализации нового состояния КЭС с изменениями во времени, т.е. с величиной накопления энтропии макросистемы

$$P(\tau) = \frac{dS_{dV}}{d\tau} = \int_V \sigma(x_1(\tau), x_2(\tau) \dots x_n(\tau)) dV. \quad (8)$$

Для принятия управленческого решения с позиций гармонизации функционирования подсистем в КЭС исходят из условия стационарности, т.е. сохранения наиболее приемлемого (с минимальным риском) состояния КЭС в условиях развития всех ее составляющих (наличие обмена вещества и энергии). В этом случае управляющее воздействие не должно приводить к увеличению энтропии, т.е. $P(\tau) \rightarrow \min$ (8).

Применение синергетического подхода к реализации термодинамического описания взаимодействия трех сложных систем в одной целостной корпоративной системе позволяет проанализировать уравнения микрокопического состояния. Потеря устойчивости КЭС определяется небольшим числом коллективных мод, которые служат параметрами порядка, описывающими макроскопическую структуру [4]. В то же время эти макроскопические переменные определяют поведение микрокопических частей системы в силу принципа подчинения. Вблизи точек неустойчивости информация о параметрах порядка изменяется, а информация, относящаяся к подчиненным модам, не изменяется.

$$P(\xi_u, \xi_s) = \prod_s P_s(\xi_s | \xi_u) f(\xi_u), \quad (9)$$

где ξ_u — вероятность, соответствующая параметрам порядка; ξ_s — вероятность амплитуд подчиненных мод.

Условие нормировки состояния устойчивости макросистем

$$\sum_{\xi_s} P_s(\xi_s | \xi_u) = 1. \quad (10)$$

Поскольку при любых масштабах исследования функционирующая КЭС содержит все основные термодинамические потоки, предопределяющие взаимосвязь и состояние трех ее подсистем, то в целом КЭС можно представить в виде квазиизолированной системы при детерминации воздействия на нее в виде некоторых const. Тогда состояние равновесия такой системы выполнимо при $P = 0$, а выход из равновесия означает рост энтропии

$$P = \frac{d_i S}{d\tau} \geq 0.$$

Каждая из подсистем как самостоятельная сложная система имеет свои критерии нормального состояния и функционирования в пределах КЭС:

1) нормализация по безразмерным величинам

$$f_i^H(x) = f_i(x) / \beta(f_i(x)),$$

где $\beta(f_i(x))$ — размерность шкалы значений оценок $f_i(x)$;

2) естественная нормализация

$$f_i^H = \left(f_i(x) - \min_{x \in X} f_i(x) \right) / \left(\max_{x \in X} f_i(x) - \min_{x \in X} f_i(x) \right);$$

3) нормализация сравнения

$$f_i^H(x) = f_i(x) / \max_{x \in X} f_i(x), \quad i = 1, \dots, m.$$

Это в свою очередь позволяет определить систему приоритетов (СП) в принятии решения вида

$$x_1 \underset{\text{СП}}{\succ} x_2 \Leftrightarrow \varphi(f(x_1)) \geq \varphi(f(x_2)) \quad \forall x_1, x_2 \in X, \quad (11)$$

где $\varphi(f(x))$ — функция полезности [2].

Для оптимизации управленческого решения в условиях КЭС целесообразно использовать апостериорную модель оптимизации (АМО) [2], что уменьшает объем и сложность необходимой информации о системе приоритетов ЛПР. Применение АМО позволяет приблизить структуру процедур выявления класса функций полезности и идентификации их параметров к реальным возможностям ЛПР, а также обеспечить решение задач вида $\{X, S, R\}$, которые не вписываются в известные аксиоматические системы. Основную задачу поиска лучшей альтернативы решения для КЭС в случае АМО можно записать

$$x_{СП} = \arg \max_{x \in X} M_S \left\{ \arg \min_{q \in Q} \Phi_q \left\{ q \left[\arg \min_{u_1 \in U_1} \Phi_{u_1} [u_1(f_1(x|s))] | I_{v_1} \right], \dots, \right. \right. \\ \left. \left. \dots, \arg \min_{u_m \in U_m} \Phi_{u_m} [u_m(f_m(x|s))] | I_{v_m} \right] \right\} \right\}, \quad (12)$$

где U_i — класс функции полезности значений $f_i, u_i \in U_i, i=1, \dots, m$; Q — класс функции полезности значений отображения $f: X \rightarrow D, q \in Q$, где D — множество векторных оценок альтернатив и принципа оптимальности R ; I_{v_i} — информация о предпочтениях ЛПП на несравнимых по отношению к \succ_{π} значениях вектора $f = (f_1, \dots, f_m) \in F_m$; Φ_u, Φ_q — функционалы, оценивающие по информации I_{v_i}, I_{φ} общность функций $u_i(f_i)$ и $q(f)$ по отношению к функциям $v_i(f_i)$ и $\varphi(f)$ соответственно; $M_S \{ \xi(s) \}$ — оператор обобщения, ставящий в соответствие оценкам альтернатив $x \in X$ на всем множестве S возможных условий их реализации характеристику качества

$$M_S \{ \xi(s) \} = \begin{cases} \sum_{s \in S} P_s \xi(s), & * \\ \int_s P(s) \xi(s) ds. & ** \end{cases} \quad (13)$$

Оператор $M_S \{ \xi(s) \}$ определяется в соответствии с условиями рассматриваемой ситуации:

* — если S дискретна, то принимает значения 0 или 1, известно вероятностное распределение P_s ;

** — если S непрерывна, то в зависимости от отклика системы на входящий сигнал и процессов в ней определяется плотность распределения как $P(s), s \in S$.

Если принять функцию полезности как одномерную функцию по S , то правило сравнения альтернатив $x_1, x_2 \in X$ по критерию S_i , который характеризуется многозначными оценками $f_i(x_1 | S), f_i(x_2 | S)$, имеет вид

$$x_1 \underset{СП_{S_i}}{\succ} x_2 \Leftrightarrow M_S \{ v_i(f_i(x_1 | s)) \} \geq M_S \{ v_i(f_i(x_2 | s)) \}, \quad (14)$$

где $\underset{СП_{S_i}}{\succ}$ — отношение предпочтения по критерию S_i , которое определено

на несравнимых $\underset{\pi}{\succ}$ многозначных значениях отображения f_i .

Сигналы, поступающие в систему, представляют термодинамические потоки вещества и энергии, которые изменяют состояние или информативность системы. Состояние системы определяется стохастическими процессами и выражается распределением вероятности изменений, зависящей от действия различных факторов и параметров порядка, т.е. от количества воз-

действующих факторов на систему (ξ_u), и амплитуды подчиненных мод (ξ_s), т.е. дополнительных воздействий на систему. Изменения в системе под воздействием внешних факторов или управляющих воздействий и внутренних процессов преобразования вещества и энергии фиксируются в виде приращения информации или изменения энтропии состояния (8, 9).

Поскольку информация

$$i = -\sum_j P_j \ln P_j, \quad (15)$$

то ее приращение определяется как

$$I = I_f + \sum_s I_s,$$

где I_f — информация о параметрах порядка, т.е. поступающая из системы постоянно при воздействии детерминированных внутренних и внешних факторов, является величиной непрерывной

$$I_f = -\sum_{\xi_u} f(\xi_u) \ln f(\xi_u); \quad (16)$$

I_s — информация, относящаяся к подчиненной моде с индексом s

$$I_s = -\sum_{\xi_s} P_s(\xi_s | \xi_u) \ln P_s(\xi_s | \xi_u). \quad (17)$$

При выходе системы из состояния равновесия информация о дополнительных воздействиях или стохастических явлениях резкого изменения не претерпевает, а информация, отражающая состояние системы (параметров порядка), резко изменяется. Величина I_s является информацией в предположении, что величина ξ_u принимает определенное значение.

Таким образом, оценить внешнее воздействие возможно по информации о состоянии системы. Параметр порядка подчиняет моды особым образом, что гарантирует возникновение макроскопической структуры и гармонического взаимодействия ее составляющих. Поведение КЭС вблизи порога устойчивости будет соответствовать сильному возрастанию информации из-за критических флуктуаций, т.е. из-за возрастания или уменьшения S .

Согласно теореме Пригожина [5] при конечно малых возмущениях в КЭС производство энтропии будет удовлетворять условиям: $dP \leq 0$ — эволюции; $P = \min$, $dP = 0$ — равновесия или стационарности.

В зависимости от *энтропии* или *информативности* в каждой из подсистем КЭС можно оценить управляющее решение как следствие состояния КЭС в целом, т.е. параметром или критерием выходных сигналов будет энтропия состояния КЭС. Реализация данного решения в пределах некоторого временного интервала $[\tau_0 T]$ может привести к взаимоисключающим исходам, учитывая схему КЭС локального уровня (рис. 1). На рис. 1 воздействие на КЭС и взаимодействие между ее составляющими осуществляется в виде

$E_x M_x$ — внешнего термодинамического потока (потока энергии и вещества);

$dE'_{x_1} M'_{x_1}$, $dE'_{x_2} M'_{x_2}$, $dE'_{x_3} M'_{x_3}$ — внутреннего изменения термодинамического потока вследствие взаимодействия природной экосистемы (ПЭС), экономической (ЭС) и социальной (СС).

Критерием оптимальности функционирования такой системы является сохранение термодинамического равновесия, т.е. $\Delta S \rightarrow \min \rightarrow 0$ или состояние $S = \max$ по отношению к другим состояниям.

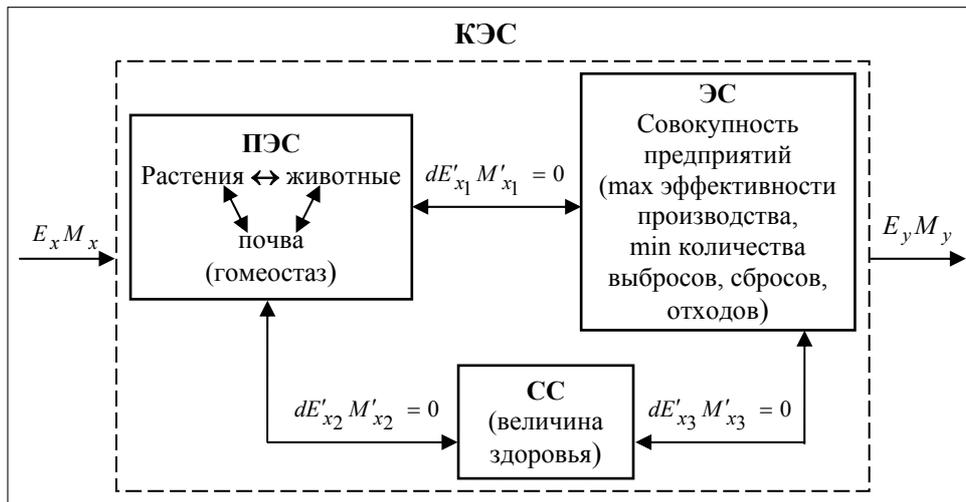


Рис. 1. Локальная корпоративная экологическая система и критерии оценки состояния

Следствия принятия управленческого решения для данной системы:

S_1 — запланированный ход событий в интервале $[t_0 T]$, например, увеличение экономической мощности в ЭС с учетом существования взаимосвязей с другими составляющими КЭС посредством термодинамических потоков вещества и энергии — $dE'_{x_n} M'_{x_n} = 0$ при $n = 1, 2, 3$. В результате система не выйдет из состояния равновесия, что не приведет к возникновению альтернатив развития событий.

S_2 — функционирование КЭС с допустимым отклонением от планового развития событий S_4, S_5 (или в отдельные моменты на данном отрезке времени, или на всем его протяжении), что также соответствует стационарному состоянию КЭС.

S_3 — нарушение состояния КЭС в результате самоорганизации каждой из подсистем S_6, S_7, S_8 , что приводит к поиску нового стационарного состояния КЭС: S_0^1 — обусловленного изменением характера взаимодействия между подсистемами; S_0^{11} — состояния стабилизации (достижение подсистемами нормативного состояния (рис. 2)).

Отсюда S_1, S_2, S_3 — следствия первой ступени, а S_4, S_5, S_6, S_7, S_8 — второй ступени детализации. Выбор общего числа следствий решения, т. е. степени детализации, предопределяется необходимостью получения надежных оценок следствия: «вероятности» наступления следствия и его «полезности».

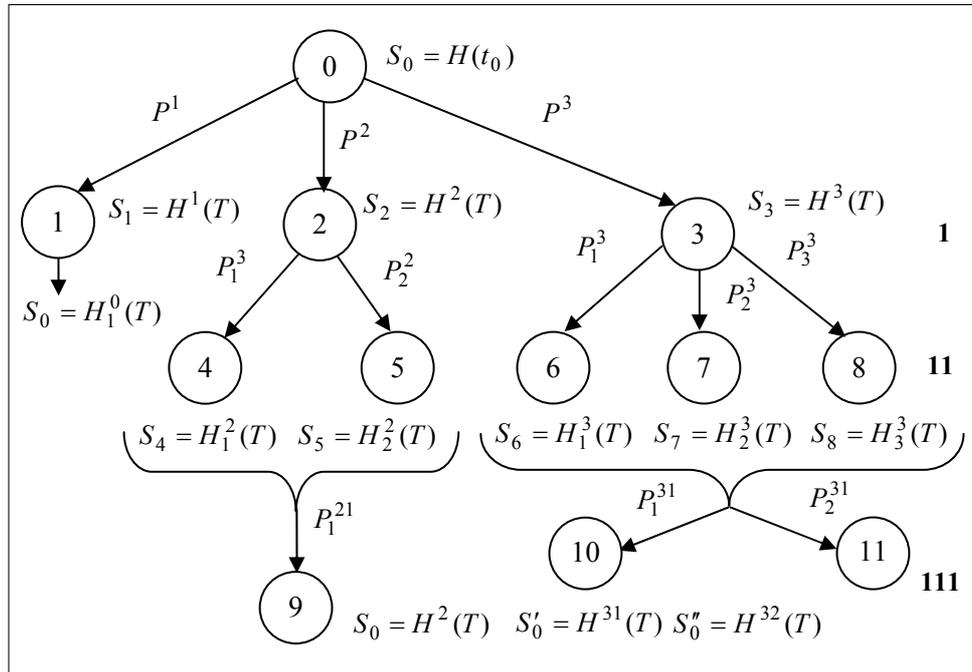


Рис. 2. Дерево альтернатив состояния КЭС в случае принятия решения и обобщения следствий H^n

Вероятность следствий данного решения обозначена P . В силу свойств следствий любое из них в произвольно выбранной степени реализации является суммой несовместимости событий – следствий очередной (более детальной) ступени.

$$P_\varphi^v = \sum_{\psi} P_{\varphi,\psi}^v, \quad P^v = \sum_{\varphi} P_\varphi^v, \quad \sum_v P^v = 1, \quad (18)$$

где v — номер следствия на первой ступени реализации управления; φ — на второй; ψ — на третьей.

Если принять, что i -й условный номер альтернативы имеет j -й номер следствия, то информация о принимающемся решении задается в виде рядов, упорядочивающих вероятности

$$(\forall i, \alpha, j_\alpha \in J) P_{ij_\alpha}^N \geq P_{ij_{\alpha+1}}^N, \quad (19)$$

$$(\forall j \in J, \xi, i_\xi \in I) P_{i_\xi j}^N \geq P_{i_{\xi+1} j}^N, \quad (20)$$

где $J = \{j | j = \overline{1, n}\}$; $I = \{i | i = \overline{1, m}\}$; α — порядковый номер в ряду вероятностей следствий одной i -й альтернативы, расположенных по убыванию их величин ($\alpha = \overline{1, n}$); j_α — номер следствия, имеющего α -й порядковый номер от начала в ряду (19); ξ — порядковый номер в упорядоченном по убыванию ряду вероятностей одноименного следствия всех рассматриваемых альтернатив; i_ξ — номер альтернативы, j -е следствие которой имеет

ξ -й порядковый номер в ряду (20). Число рядов вида (19) равно числу альтернатив (m), число рядов вида (20) — числу следствий (n). Для фиктивных следствий $P_{ij}^N = 0$. Тогда P_{ij}^N — это неизвестное истинное значение субъективной вероятности j -го следствия из i -й альтернативы.

На первом этапе, согласно имеющимся данным мониторинга, определяются доверительные интервалы для каждой субъективной вероятности P_{ij}^N , после чего по дополнительной информации о состоянии каждой из подсистем КЭС находятся некоторые точечные оценки P_{ij}^N , отвечающие задаваемой степени риска. Для любых двух соседних членов рядов (20), определяющих отношение порядка между вероятностями одноименного следствия, с номером j выполняется условие

$$\begin{aligned} \min P_{i,\xi,j} &\geq \min P_{i,\xi+1,j}, \\ \max P_{i,\xi+1,j} &\leq \max P_{i,\xi,j}, \end{aligned}$$

где \max и \min — наибольшие и наименьшие значения оценок P_{ij} на множестве всех условий (19) и (20).

Отсюда нижние и верхние оценки P_{ij} в общем случае

$$\min P_{ij} > \inf P_{ij}; \quad \max P_{ij} < \sup P_{ij}. \quad (21)$$

Таким образом, чем больше возникает альтернатив реализации принятия управленческого решения, тем больше накладывается ограничений на каждую из оценок P_{ij} и тем меньше может быть длина предельного доверительного интервала, содержащего P_{ij}^N .

Согласно рис. 2 в качестве оцениваемых рассматриваются вероятности следствий $S_1, S_0, S'_0, S''_0, P_1^N, P_9^N, P_{10}^N, P_{11}^N$. В соответствии с допущением имеем

$$P^3 = P_1^3 + P_2^3 + P_3^3; \quad P^2 = P_1^2 + P_2^2. \quad (22)$$

На практике для реализации подобного подхода для КЭС используем рекомендации [6] и для произвольного j -го следствия из i -й альтернативы одной из границ 100%-ного доверительного интервала сформулируем для α порядкового номера следствия в виде задачи нахождения оптимального значения P_{ij} при ограничениях

$$\begin{aligned} (\forall i, \alpha, j_\alpha \in J) \quad &P_{ij_\alpha} - P_{ij_{\alpha+1}} - \gamma_{ij_{\alpha+1}} = 0, \\ (\forall j \in J, \xi \in I) \quad &P_{i\xi j} - P_{i\xi+1 j} - \beta_{i\xi+1 j} = 0, \\ (\forall i) \sum_{j_\alpha \in J} &P_{ij_\alpha} = 1, \\ (\forall j_{\alpha+1} \in J; i; j_{\xi+1} \in I, j \in J) \quad &\gamma_{ij_{\alpha+1}} \geq 0, \beta_{i,\xi+1,j} \geq 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Система ограничений (23) получена преобразованиями соответствующего порядка:

- уравнения (19) путем добавления к правой части дополнительной неотрицательной переменной $\gamma_{ij\alpha+1}$ с последующим переносом правой части в левую;
- аналогичные преобразования с уравнением (20);
- следствия альтернативы, которые составляют полную группу несовместных событий.

Тогда

$\text{opt } P_{ij} = \max P_{ij}$ — ищется верхняя граница доверительного интервала;

$\text{opt } P_{ij} = \min P_{ij}$ — ищется нижняя граница.

В качестве меры неопределенности количественной оценки отдельно взятой вероятности принимаем разность

$$\Delta_\alpha = \sup P_\alpha - \inf P_\alpha, \quad (24)$$

а меру неопределенности всей совокупности величин рассчитываем как среднеарифметическое

$$\partial(n) = \frac{\sum \Delta_\alpha}{n}. \quad (25)$$

Оценка принятого управленческого решения с целью гармонизации взаимодействия всех подсистем КЭС и стабилизации состояния КЭС в целом предполагает в качестве измерителя (критерия) оценки состояния системы или степени ее дестабилизации введение экологического компаратора (ЭК) (рис. 3) [7].

Деградационные процессы в составляющих КЭС фиксируются в информационной системе экологического мониторинга на основе выходных сигналов f_1, f_2, \dots, f_n , соответственно входу в компаратор ЭК. Предикат ЭК имеет вид

$$\begin{aligned} & P(E_{x_1} M_{x_1}, E_{x_2} M_{x_2}, \dots, E_{x_n} M_{x_n}) = \\ & = \text{ЭК}(f_1(E_{x_1} M_{x_1}), f_2(E_{x_2} M_{x_2}), \dots, f_n(E_{x_n} M_{x_n})) \\ & \text{или } P\left(\left[X_i^j\right]_N = \bigcup_{y=0}^N \left[X_i^j\right]_1^y\right) = \text{ЭК}\left(f_N\left[Y_l^j\right]_N = \bigcup_{y=0}^N \left[Y_l^j\right]_1^y\right), \end{aligned} \quad (26)$$

что позволяет сделать выводы об общем состоянии КЭС по значению t .

$$\begin{aligned} P(x_1, x'_1, x_2, x'_2, \dots, x_m, x'_m) &= K(f_1(x_1), f_2(x_2), \dots, f(x_m), f(x'_1), f(x'_2), \dots, f(x'_m)), \\ P(x_1, x'_1, x_2, x'_2, \dots) &= t. \end{aligned} \quad (27)$$

При этом внутреннее состояние объекта описывается условиями

$$Y_1 = f_1(x_1; x'_1), \quad Y_2 = f_2(x_2; x'_2). \quad (28)$$

Предикат соотношения естественных параметров и параметров управления представляется зависимостью

$$P(x_1, x'_1) = D(f(x_1), f(x'_1)). \quad (29)$$

Своим поведением компаратор реализует предикат

$$K(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) = t, \quad (30)$$

соответствующий отношению « K — предикат компаратора».

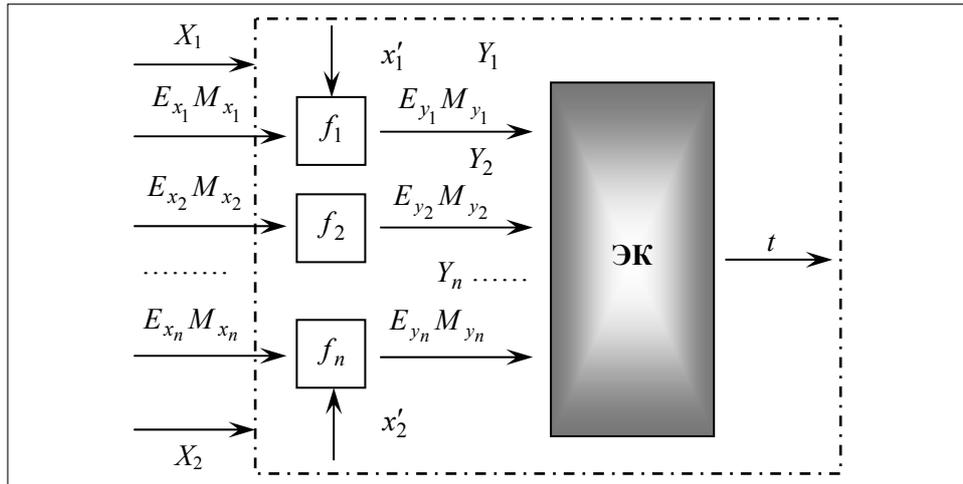


Рис. 3. Схема работы экологического компаратора

Известно, что предикат предвидит состояние объекта при $t = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$, но состояние КЭС обусловлено увеличением и уменьшением значения энтропии, т. е. $-1 < \Delta S < 1$.

$$D(Y_1, Y'_1) = \begin{cases} -1 & \text{при } x_1 \neq x'_1, \\ 1 & \text{при } x_1 = x'_1, \\ 0 & \text{при } x_1 = x' \text{ или } x'_1 = 0. \end{cases} \quad (31)$$

Поэтому энтропия убывает с увеличением управляющего воздействия (упорядочение системы $dS < 0$), возрастает с увеличением управляющего воздействия (неравновесное состояние $dS > 0$), неизменна (система в состоянии равновесия $dS = 0$).

Поскольку поступающая информация представляет собой итог физико-химических преобразований в КЭС, критерием оценки которых является энтропия S , то предикат отношения как условие равновесия соответствует

$$P(S_1, S_2, S_3) = \text{ЭК}(f_1(S_1), f_2(S_2), f_3(S_3)), \quad (32)$$

$$\text{ЭК}(y_1, y_2, y_3) = \begin{cases} 1 & \text{— *}, \\ 0 & \text{— **}, \end{cases}$$

где * — нарушение динамического равновесия в подсистемах и системе в целом; ** — сохранение состояния равновесия.

ВЫВОДЫ

Использование принципов термодинамики, теории оптимизации принятия решения в системе экологического мониторинга с целью фундаментальных научных исследований формирования теории развития социально-экономической и природной систем позволяет рассматривать КЭС как корпоративную модель экологического управления. На основе анализа ее структуры и особенностей взаимодействия подсистем определено:

1. КЭС как кибернетическая модель имеет следующие функциональные критерии:

- оптимизационные — термодинамическая функция (энтропия, информативность) (4), (6), (15);
- адаптационные — изменение термодинамического потока вещества и энергии (7), (8);
- эволюционные — переход системы из одного состояния динамического равновесия в другое.

2. Состояние КЭС как стохастической системы, функционирующей в условиях риска и неопределенности, описывается статистической термодинамической функцией энтропии S или информативности i : $i = -\sum_j P_j \ln P_j$

и стабилизируется в условиях принятия оптимального управленческого решения (13), (14), (23) – (25).

3. Идентификация состояния КЭС возможна с помощью метода компараторной идентификации на основе значения экологического компаратора (31, 32).

ЛИТЕРАТУРА

1. Козуля Т.В. Аналіз і синтез управлінського рішення для корпоративної системи в екологічному моніторингу // АСУ и приборы автоматики. — 2005. — № 132. — С. 26–34.
2. Современный синтез критериев в задачах принятия решений / А.Н. Катулев и др. — М.: Радио и связь, 1992. — 130 с.
3. Горстко А.Б., Угольницкий Г.А. Введение в моделирование эколого-экономических систем. — Ростов-на-Дону: Ростовский ун-т, 1990. — 112 с.
4. Николас Дж. Динамика иерархических систем: эволюционное представление. — М.: Мир, 1989. — 488 с.
5. Хакен Г. Информация и самоорганизация: макроскопический подход к сложным системам. — М.: Мир, 1991. — 240 с.
6. Федулов А. А., Федулов Ю. Г., Цыгичко В. Н. Введение в теорию статистически ненадежных решений. — М.: Статистика, 1979. — 278 с.
7. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. О бионике интеллекта // Бионика интеллекта. — 2004. — № 1(61). — С. 3–14.
8. Системный анализ и проблемы развития городов // Ю.С. Попков и др. — М.: Наука, 1983. — 512 с.

Поступила 19.05.2007