

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА СИСТЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 519.713:631.411.6

ШАРОНОВА Наталья Валерьевна

д.т.н., профессор, заведующая кафедрой интеллектуальных компьютерных систем НТУ «Харьковский политехнический институт».

Научные интересы: системный анализ сложных систем разной природы.

e-mail: nvsharonova@mail.ru

КОЗУЛЯ Мария Михайловна

магистр кафедры компьютерного мониторинга и логистики НТУ «Харьковский политехнический институт».

Научные интересы: системный анализ, экологический мониторинг.

e-mail: mariya_kozulya@mail.ru

СВЯТКИН Ярослав Владимирович

старший преподаватель кафедры компьютерного мониторинга и логистики НТУ "Харьковский политехнический институт".

Научные интересы: системный анализ, информационные системы широкого назначения

e-mail: yariks@i.ua

ВВЕДЕНИЕ

В научной литературе достаточно полно представлены информационные разработки по созданию сложных систем для принятия эффективных управленческих решений с целью гармонизации взаимодействия «природа – общество» [1].

На функционирование как экологической, так и экономической системы значительной мерой влияет социальная система, где важным образом есть состояние человека, как части общества, и как биологического организма. Объединение подсистем с разных иерархий привело к формированию смешанного класса системы – эколого-экономических, социально-экономических и социально-экологических, что позволило только частично решить экологические вопросы развития окружающей природной среды (ОПС) на микро- и локальном уровне экологических исследований. Актуальным и необходимым на данный момент является решение экологических проблем на глобальном уровне на основе разработки методических

положений по формированию информационной поддержки по внедрению новых технологий оценки качества объектов окружающей среды.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является математическое моделирование обработки информации по состоянию сложных объектов природно-техногенного содержания для комплексной оценки экологичности составляющих систем [2-4] и определения оптимальной модели принятия управленческого решения. В ходе теоретического анализа имеющихся результатов в этой области исследований в работе поставлены и решены такие задачи:

- 1) обоснование математических моделей природно-техногенных комплексов с определением их состояния и процессов в них по стабилизации нарушений;
- 2) формирование систем компараторной идентификации характеристик состояния разнородных составляющих объекта исследования и определение факторов

экологического регулирования экологичности систем как меры соответствия их природного гомеостаза;

3) реализация предложенной методики оценивания качества объектов окружающей среды на примере Змиевского территориального комплекса (Харьковская область).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА И НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для комплексной оценки экологичности территориальных объектных систем компараторная идентификация более объективна и достоверна, чем экспертное оценивание в балах: она предоставляет количественное значение в двух параметрах – 0 и 1, которое позволяет выявить по параметру ΔS изменения в состоянии систем и объекта и вероятности P нарушения связей в среде [4, 5, 6]. По теории компараторной идентификации [7]: компаратор – измеритель соответствия структуры, функциональности систем внутреннего гомеостаза интегрального объекта, предоставленной кортежем X^s и X^t входного влияния X вида

$$F(A, X^{(s)}) = F(A, X^{(t)}), \quad (1)$$

$$F(A, X^{(s)}) < (\leq) F(A, X^{(t)}), \quad s, t = \overline{1, n}, s \neq t.$$

Предоставленные кортежи являются составляющими термодинамического потока, определенного как некоторая связь – отношение R между составляющими системы и объекта соответственно параметра A модели и оператора F (структура) (1), который реализуют внутренний гомеостаз составляющих систем. Для однозначности характеристики состояния систем через параметры оценки экологичности введен оператор F и параметры модели A , для которых несоответствие требованиям безопасности (ситуация неэквивалентности) приводит к неравенству (1). При изучении территориально-объектных экосистем с вариантами поведения $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $x_i \in X, i = \overline{1, n}$ рассмотрены количественные измерения для отдельных систем (например, при исследовании состояния экосистемы почва требуются измерения физических параметров и химического состава, как индикаторов их экологичности и соответствия гомеостазу):

$$K(x_i) = \langle k_1(x_i), k_2(x_i), \dots, k_m(x_i) \rangle.$$

На основе анализа отдельных характеристик систем в соответствии с условиями состояния интегратив-

ного объекта определяют вероятностную оценку реализованной структуры и ее соответствие требованиям экологической безопасности, предоставленных в виде $P: X \rightarrow V$, где P – оператор модели оценивания, а $V = P(X)$ – модель многофакторных оценок альтернатив решения ($v_i = P(x_i), i = \overline{1, n}$).

Идея такого подхода к оценке экологичности систем и уровня безопасности предусматривает использование *измерительной процедуры экологического риска*, которая в случае исполнения соответствия реализует предикат вида

$$D_1(v_q, v_n) = \begin{cases} 1 & \text{при } v_q = v_n \\ 0 & \text{при } v_q \neq v_n \end{cases}, \quad (2)$$

$$E_1(x_q, x_n) = D_1[P(x_q), P(x_n)], \quad \forall x_q, x_n \in X,$$

где v_q, v_n – оценка полезности использованного и природного состояния, как $v_q = P(x_q), v_n = P(x_n)$ с учетом затрат на поддержку экологичности систем.

Анализ потока между системами и вероятности возникновения негативного фактора влияния $v_q, v_r \in V$, обнаруживают изменения в результате трансформационных процессов по составу потока, появления эффектов в ОПС, которые приводят к увеличению неупорядоченности S и соответственных изменений ΔS внутреннего пространства объекта. Результаты анализа подаются за компаратором и предикатом в виде (положительные результаты – 1):

$$D_2(v_q, v_r) = \begin{cases} 1 & \text{при } v_q \geq v_r \\ 0 & \text{при } v_q < v_r \end{cases}, \quad (3)$$

$$E_2(x_q, x_r) = D_2[P(x_q), P(x_r)], \quad \forall x_q, x_r \in X, q \neq r.$$

Экологичность или полезность данного состояния системы определяется неизменностью энтропийной функции оценки и $\Delta S \rightarrow 0$, негативной оценкой является увеличение вероятности прохождения процессов по дестабилизации систем $S_q > S_r, \Delta S > 0$ и появление иницирующего влияния на них в внутренней среде объекта $P(x_q) > P(x_r)$.

Решение задач выбора развития систем по компараторной оценке рассматривается в двух аспектах соответственно полноты выходящей информации и получения результатов, реализуя предикат вида:

– уверенный выбор и однозначное решение на основе анализа (2–3):

$$D_3(v_q, v_r) = \begin{cases} 1 & \text{при } v_q > v_r \\ 0 & \text{при } v_q < v_r \end{cases}, \quad (4)$$

– неполностью уверенное решение за отсутствием информации о состоянии объекта, разрешены внутренние и внешние связи – нечеткие выходные данные про свойства систем, природу и вероятность прохождения процессов и т.д.:

$$D_4(v_q, v_r) = \begin{cases} 1 & \text{при } v_q \geq v_r \\ 0 & \text{при } v_q < v_r \end{cases}, \quad (5)$$

$$E_4(x_q, x_r) = D_4[P(x_q), P(x_r)], \forall x_q, x_r \in X, q \neq r.$$

Состояние систем определяется достижением максимального значения энтропийной функции S_{\max} и отсутствием дестабилизирующих явлений ($\Delta S \rightarrow 0$), предоставляют оператор с детализацией, обращая внимание на приоритетность сохранения стойкости природных экосистем (x_1):

$$\begin{aligned} P(x_s) &> (\geq) P(x_1), x_s, x_1 \in X, s = \overline{2, n}, s \neq 1, \\ P(x_2) &< (\leq) P(x_1), P(x_3) < (\leq) P(x_1). \end{aligned} \quad (6)$$

При согласовании вероятностно-энтропийных показателей экологичности и компараторной идентификации (1–6) предствляется общая модель (M) оценивания:

$$V_M(x_i) = P_M(A_M, K(x_i)), i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

где $V_M(x_i)$ – обобщенная оценка полезности альтернатив по оценке экологического качества систем, выбора их структуры, принятого решения; P_M – оператор модели оценивания – структурная идентификация, как реализация определенных экономических, социальных и экологических составляющих и их связи; $K(x_i)$ – m-мерное количественно-измеренное входящее действие (характеристика состояния, структур, альтернатив); A_M – r-мерный вектор количественных характеристик модели объекта – параметрическая идентификация – состояние систем, потоков, которые реализуют связь между системами (например, мощность и интенсивность материальных потоков из социально-экономической системы на экосистемы).

Компараторная идентификация для территориально-объектных систем связана с оценкой оператора

P_M (структурная идентификация) и значением A_M (параметрическая идентификация), которые по условию (6) описывают реальные физические, физиологические, биохимические процессы функцией S, нарушение экологичности в системах через негэнтропийное действие [7].

По данным мониторинга для системного объекта определяют функцию $Y(x_i) = F(K(x_i))$, где $Y(x_i)$ – скалярная многофакторная оценка состояний или изменений в составляющих и объекте (по уровню задачи исследования), $x_i \in X$;
 $K(x_i) = \{k_1(x_i), k_2(x_i), \dots, k_m(x_i)\}$, $i = \overline{1, n}$ – факторы оценивания x_i , для которых вводится коэффициент изоморфизма с целью достижения однородности $K(x_i) - A = \langle a_1, a_2, \dots, a_r \rangle$.

На этапе интегральной оценки экологической безопасности предусмотрена однородность определения факторов благодаря характеристикам систем объекта исследования в виде S, ΔS , P, Risk [7].

Практическая реализация методики такой комплексной оценки качества ОПС рассмотрена на примере исследования соответствия экологическому состоянию ландшафтно-геохимических комплексов территории Змиевского района, которые находятся под влиянием промышленно-энергетического комплекса и соответственно загрязнены тяжелыми металлами (ТМ).

По методу компараторной идентификации (отношение (1-7)) определяем геохимическое подпространство $A_1, A_2 \dots A_m$ (m – размерность), для которого $(x_1, x_2 \dots x_m)$ составляющие факторов влияния в виде $x_1 \in A_1, x_2 \in A_2$, что представляют предметное пространство из катионных и анионных форм ТМ $A_1 = A_2 = \dots = A_m = U$:

$$U = \left\{ \underbrace{\text{Zn, Co, Ni, Pb, Sr, Cu}}_{x_1}, \underbrace{\text{Mo, Cr, V}}_{x_2} \right\}.$$

Для описания трансформации в миграционном потоке состояние ТМ предоставляют в виде двудольного графа. Для анализа состояния фактора окончательного влияния ТМ на сопредельные среды (в т.ч. и человека) учитывают снижение подвижности за счет самопроизвольных процессов образования ими нерастворимых соединений, накопление в почве и отсутствие в

биоматериале, что задает множество возможных вариантов состояний. Для оценки безопасности поступления ТМ в объекты ОПС возникает необходимость характеристики отношений: $\{x_1, x_2\}$ $m = 2$, $A_1 = \{Zn, Co, Ni, Pb, Sr, Cu\}$. $A_2 = \{Mo, Cr, V\}$, тогда $S = A_1 \times A_2$ есть множество пар вида (x_1, x_2) , для которых отношения формируются по значению энтропийного состояния, то есть анализа процессов изменений и самоорганизационных способностей системы почва вообще. Отношения, определенные на одном пространстве, однотипные, реализованные операциями: объединение – дизъюнкция \vee – или; пересечение – конъюнкция \wedge – и. Для анализируемого состояния допустимыми приняты те, значения вероятности отклонения количества которых от нормативно установленного ограничения находится в пределах малого риска - 20%:

$$P(x_1 - x_n) = \begin{cases} 1, & \text{при } x \leq 0,2 \\ 0, & \text{при } x \geq 0,2 \end{cases}$$

Энтропия при самопроизвольных процессах должна увеличиваться, и соответственно идентифицируется состояние безопасности нахождения элемента в почве (табл. 1).

Таблица 1 –

Определение состояния тяжелых металлов по энтропийной оценке нарушений соответствий

| Элемент | Энтропийное состояние | Компаратор | Cr | V |
|---------|-----------------------|------------|----|---|
| Zn | -2,265 | 1 | 1 | 1 |
| Co | -1,619 | 0 | 1 | 1 |
| Ni | -1,616 | 0 | 1 | 1 |
| Pb | -2,042 | 1 | 1 | 1 |
| Sr | -1,687 | 1 | 1 | 1 |
| Cu | -1,844 | 1 | 1 | 1 |
| Mo | -1,462 | 0 | 1 | 1 |
| Cr | -2,639 | 1 | 1 | 1 |
| V | -2,434 | 1 | 1 | 1 |

Отношение из отображения «превышение» естественного уровня за счет техногенного поступления" и «взаимодействие» в почве с составляющими почв (сорбция) и между собой с учетом объединения этих процессов для каждого элемента (конъюнкция

$P' \cap Q$) имеет такой окончательный вид $P' = x^0 y^0 \vee x^0 y^1 \vee x^0 y^2 \vee x^0 y^3 \vee x^0 y^4$ согласно сформированной базе оценки их состояния:

| | Zn | Ni | Pb | Sr | Cu |
|----|----|----|----|----|----|
| Zn | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pb | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Sr | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Cu | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

По полученной совершенной дизъюнктивной нормальной форме (СДФ):

$P' = x^0 y^0 \vee x^0 y^1 \vee x^0 y^2 \vee x^0 y^3 \vee x^0 y^4$ получают такие данные

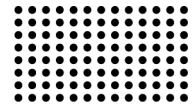
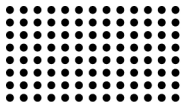
| | Zn | Pb | Sr | Cr | V |
|----|----|----|----|----|---|
| Zn | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Pb | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Sr | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Cr | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| V | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Учитывая пересечения состояний Zn с соответствующим состоянием других тяжелых металлов определено СКНФ вида

$$x^0 y^3 \wedge x^0 y^4 \wedge x^1 y^3 \wedge x^1 y^4 \wedge x^2 y^3 \wedge x^2 y^4 \wedge x^3 y^0 \wedge x^3 y^1 \wedge x^3 y^2 \wedge x^4 y^0 \wedge x^4 y^1 \wedge x^4 y^2 \quad (8)$$

Зафиксированы случаи самопроизвольных процессов накопления ТМ возможные при малой Р отклонения от минимального их содержания, стабильность обеспечения «положительного состояния», определенного значительным отклонением от допустимого ограничения, объясняется присутствием элементов в почве и ходе указанных процессов: $x^i \leq -2,3$ при $P = 0,1$ и $y^j \leq -2,99$ при $\alpha = 0,05, P = 0,95$. С учетом данных таблицы 1 и выражения (8) имеем такую оценку состояния элементов:

| | | | |
|----|---------------|---|----------|
| Zn | $x^0 = -2.78$ | $1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1$ | 1 |
| Pb | $x^1 = -2.04$ | $0 \cdot 1 \wedge 0 \cdot 1$ | 0 |
| Sr | $x^2 = -2.02$ | $0 \cdot 1 \wedge 0 \cdot 1$ | 0 |
| Cr | $x^3 = -2.7$ | $1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1$ | 1 |
| V | $x^4 = -2.46$ | $1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1 \wedge 1 \cdot 1$ | 1 |



Таким образом, феноменологические знания о поведении ТМ в объектах ОПС обосновываются энтропийной оценкой их состояния и моделированием на основе компараторной идентификации с учетом «состояние – процесс» благодаря применению СДНФ и СКНФ. Это позволяет установить фактор опасности, вероятность нивелирования его негативного влияния за счет процессов трансформации в миграционных потоках в присутствии других негативных составляющих фактора.

Аналогично проводится оценка состояния здоровья населения, что является отражением экологичности исследованной территории. Таким образом, построенная модель с применением элементов теории компараторной идентификации является отображением комплексного критерия определения состояния социально-эколого-экономических систем. При этом фиксируются возможные существенные изменения, которые связаны с внутренним пространством сложного объекта исследования и его взаимодействием с окружающей средой, с равновесием и гомеостазом в природно-техногенных объектах.

НАУЧНОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обосновано введение модели экологического компаратора как критерия оптимизации принятия

управленческого решения в системе экологического мониторинга природно-техногенных объектов.

ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате теоретико-практических исследований определено методическое обеспечение комплексной оценки экологичности на уровне системных объектов, что является информационной основой для принятия управленческого решения благодаря внедрению таких результатов данной работы:

- 1) определен общий вид математической модели природно-техногенных комплексов на основе идентификации их состояния и процессов в них по стабилизации нарушений (1);
- 2) установлены положения компараторной идентификации характеристик состояния разнородных систем объекта исследования и определение факторов регулирования экологичности систем (2-6);
- 3) предоставлены результаты компараторной идентификации состояния тяжелых металлов и изменений согласно возможным трансформационным процессам при их участии (табл. 1, (8)) на примере данных Змиевского территориального
- 4) комплекса (Харьковская область).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Zgurovskij M.Z. Global'noe modelirovanie protsessov ustojchivogo razvitiya v kontekste kachestva i bezopasnosti zhizni lyudej /M.Z. Zgurovskij, A.D. Gvishiani. – K.: Poltehnka, 2008. – 331 s.
2. Kozulya T.V. Modelirovanie struktury i identifikatsiya sostoyaniya korporativnoj ekologicheskoy sistemy (KES) /T.V. Kozulya, N.V. SHaronova //Problemi nformatsijnih tehnologij. – 2007. – №1 (001). – S.178-187.
3. Sharonova N.V. Entropy as Substratum of identifying the Corporative Ecological system (CES) condition /N.V. Sharonova, T.V. Kozulya //Vestnik Hersonskogo natsional'nogo tehničeskogo universiteta. – 2008. – №2 (31). – S.518-527.
4. Kozulya T.V. Protsepi ekologičnogo reguljuvannya. Kontseptsya korporativno ekologično sistemi: monografya /T.V. Kozulya. – Harkiv: NTU HPI, 2010. – 588 s.
5. Bondarenko M.F. Pro zagal'nu teoryu komparatorno dentifikats /M.F. Bondarenko, S.Yu. SHabanov-Kushnarenko, Yu.P. Shabanov-Kushnarenko //Bonka ntelektu: nauk.-tehn. zhurnal. – 2008. – №2 (69). – S.13-22.
6. Ovezgel'dyev A.O. Sintez i identifikatsiya modelej mnogofaktornogo otsenivaniya i optimizatsii /Ovezgel'dyev A.O., Petrov E.G., Petrov K.E. – K.: Naukova Dumka, 2002. – 163 s.
7. Kozulya T.V. Sistema pdtrimki priinyattya ekologičnogo rshennya v umovah kontsepts KES novtnh tehnologj ekologičnogo analzu /T.V. Kozulya, D. Mel'yanova //Vestnik Hersonskogo natsional'nogo tehničeskogo universiteta. – 2010. – №2 (38). – S.285-293.

Рецензент: д.т.н., доц. Хайрова Н.Ф.,
НТУ «Харьковский политехнический институт», Харьков.