

# ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ КОМПАРАТОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 519.713:504.064

## КОЗУЛЯ Татьяна Владимировна

д.т.н., профессор кафедры компьютерного мониторинга и логистики НТУ «Харьковский политехнический институт».

**Научные интересы:** принятие решения в системе экологического мониторинга; моделирование физико-химических процессов в природных системах.

**e-mail:** kozulia@kpi.kharkov.ua

## БЕЛОВА Мария Алексеевна

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

**Научные интересы:** компараторная идентификация, концепция устойчивого развития.

**e-mail:** maria\_belova-91@mail.ru

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью научного решения задач, поставленных в государственной Концепции экологической политики Украины, по созданию информационной и методической базы системы экологической безопасности на всех уровнях жизнедеятельности общества.

Разработка такой методики должна опираться на три составляющих устойчивого эколого-социально-экономического развития в контексте повышения качества окружающей природной среды (ОПС) и безопасности жизни людей [1]. Одним из перспективных направлений таких исследований является поиск новых методических подходов к решению экологических задач и создание интеллектуальных систем поддержки решения в управлении экологическим качеством ОПС. Таким образом, актуальны разработки методологии структурно-параметрической идентификации, моделей скалярного многофакторного оценивания состояния объектов ОПС и общества, отличающиеся информационной полнотой и адекватностью представления динамики и последствий устойчивого развития (УР).

**Цель работы** связана с формированием методического обеспечения комплексной экологической оценки состояния сложных объектов с использованием

элементов метода компараторной идентификации. В выполненных исследованиях **поставлены и решены такие задачи:**

- 1) обосновать основные положения методики оценки экологического качества сложных систем при использовании теории компараторной идентификации;
- 2) разработать алгоритмическое обеспечение реализации приведенной методики;
- 3) получить и проанализировать практические результаты использования данной методики для определения экологических рейтингов стран мира, областей Украины, опасных промышленных объектов Харьковской области;
- 4) обосновать эффективность внедрения компараторной идентификации для разработки системы оценки состояния сложных экологических систем на различных уровнях исследования.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наиболее распространенной и признанной в сфере экологических исследований по концепции устойчивого развития является модель Института прикладного системного анализа НАН Украины и МОН Украины, заключающаяся

в индексном оценивании уровня экологичности социально-экономической динамики общества [1]. Основной характеристикой УР является индекс устойчивого развития, который определяется как сумма индексов развития экономической, социальной и экологической сфер с определенными весовыми коэффициентами без учета взаимовлияния экологических, социальных, экономических составляющих при формировании целостного объекта. Последний аспект научных исследований требует внедрения многофакторного анализа сложных систем, что усложняет решение задачи при повышении объективности полученных результатов.

Для выявления определенных процессов по улучшению или ухудшению рассмотренной экологической ситуации необходима такая методология оценивания, которая инвариантна к конкретному количественному и качественному составу характеристик систем и объекта исследования в целом. Это позволит формировать оценку экологичности как на глобальном уровне исследования, так и для на территориально-административных комплексов. Именно с позиций создания универсального методического обеспечения по решению вопросов экологической оценки качества объектов природно-техногенного происхождения в работе предложено обратиться к теории компараторной идентификации [2].

Для метода компараторной идентификации характерным является сравнение заданного результата измерения с эталоном по определенной шкале. Предлагается предоставлять шкалу оценки рассмотренных систем для каждого отдельного случая в соответствии с такой последовательности анализа: для фиксированного  $j$  выбирается одно эталонное значение параметра  $y_j$  – минимальное или максимальное значение параметра  $x_{ij}$  среди всех  $X_n$  в зависимости от физического смысла каждого из параметров. Общее количество эталонных значений будет составлять  $m$ .

Физический смысл каждого из параметров различен, потому необходимо их нормирование, заключающееся в сравнении рассматриваемого свойства системы  $x_{ij}$  с его эталонным значением  $y_j$  и нахождении частного:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{y_j} \quad (1)$$

Для характеристики состояния системы принято:  $n_{ij} = 1$  – оптимальное,  $n_{ij} \gg 1$  и  $n_{ij} \ll 1$  – неудов-

летворительное со значительным уровнем отклонения от данных требований экологического развития или эталонного значения, принятого на единицу:

$$\Delta_{ij} = \frac{|n_{ij} - 1|}{\max n_j - \min n_j} \quad (2)$$

Оптимальным считается значение  $\Delta_{ij} = 0$ , допустимым в работе принято считать отклонение на 20% [3], а потому на данном этапе эталонными значениями будут  $\Delta_{ij} \in [0; 0.2]$ .

Предложенная методика оценки экологического соответствия предполагает определение рейтинга объектов по их состоянию. Для некоторой совокупности объектов  $X_1, X_2, \dots, X_n$  в количестве  $n$ , каждый из которых характеризуется  $m$  определенными параметрами, установлено состояние  $S_n$ , соответствующее принятому начальному  $S_0: X_1(x_{11}, x_{12}, x_{13}, \dots, x_{1m})$ . Для примера установим  $n = 5$ , выберем случайно такие страны:  $X_1$  – Болгария,  $X_2$  – Ирландия,  $X_3$  – Венгрия,  $X_4$  – Финляндия,  $X_5$  – Чили, по соответствующим показателям состояния:  $x_{n1}$  – прирост населения 2005-2006 р.р.,  $x_{n2}$  – количество телефонов на 100 жителей,  $x_{n3}$  – детская смертность,  $x_{n4}$  – суммарный процент образованности населения,  $x_{n5}$  – ожидаемая продолжительность жизни в годах [1]. Таким образом, исследуемая совокупность объектов имеет вид:

$$\begin{aligned} X_1(0; 36.77; 16; 81.5; 72.7); \\ X_2(46559; 50.24; 6; 99.9; 78.4); \\ X_3(0; 36.12; 9; 89.3; 72.9); \\ X_4(28607; 52.35; 5; 101; 78.9); \\ X_5(153307; 23.04; 12; 86.1; 78.3). \end{aligned}$$

Учитывая, что прирост населения, количество телефонов на 100 жителей, суммарный процент образованности населения и ожидаемая продолжительность жизни должны быть максимальными, а детская смертность – минимальной, для исследуемой совокупности объектов вектор эталонных значений имеет вид:  $Y(153307; 52.35; 5; 101; 78.9)$  (рис 1).

Для конкретного объекта отклонение параметров от эталонных значений равны нулю или больше нуля на 20% – объект не требует внешнего управления. Если хотя бы одно из отклонений, прошедших через компаратор, равно 0 – объект требует регулирующих изме-

нений для достижения соответствия требованиям социально-экологической безопасности [4, 5]:

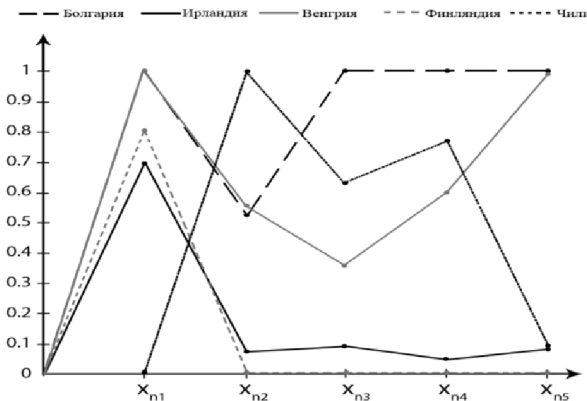


Рисунок 1 – Результаты нормирования параметров стран по формуле (2)

$$K_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Согласно полученным результатам (3) среди исследуемых объектов отсутствуют объекты с оптимальным экологическим уровнем.

На первое место рейтинга предлагается поместить объект, для которого наибольшее количество характеристик  $k_{ij}$  принимает значение 1. Далее формируется новая выборка объектов, которая не включает в себя вышеуказанный объект. Расчеты проводятся сначала, с поиска эталонных значений параметров  $y_j$ . По такому же принципу выбирается объект, который занимает второе место рейтинга. Формируется обновленная выборка. Таким образом, расчеты проводятся до момента полного размещения рассмотренных объектов в определенной последовательности по значениям экологических отклонений (рис. 2).

На первое место по данным оценивания (3) определен объект, для которого сумма отклонений наименьшая. Таким объектом является Финляндия. Аналогичным образом осуществляется перерасчет для всех остальных стран. Конечный рейтинг имеет вид: 1. Финляндия; 2. Ирландия; 3. Чили; 4. Венгрия; 5. Болгария. Полученный результат сравниваем с рейтингом устойчивого развития для 113 стран, полученным М. Згуровським в работе [1]. Согласно им, Финляндия занимает первую строчку рейтинга, Ирландия находится на

девятом месте, Чили – на двадцатом, Венгрия – на тридцатом, Болгария на тридцать девятом. Таким образом, в рамках рейтинга из пяти выбранных стран результаты обеих методик близки.

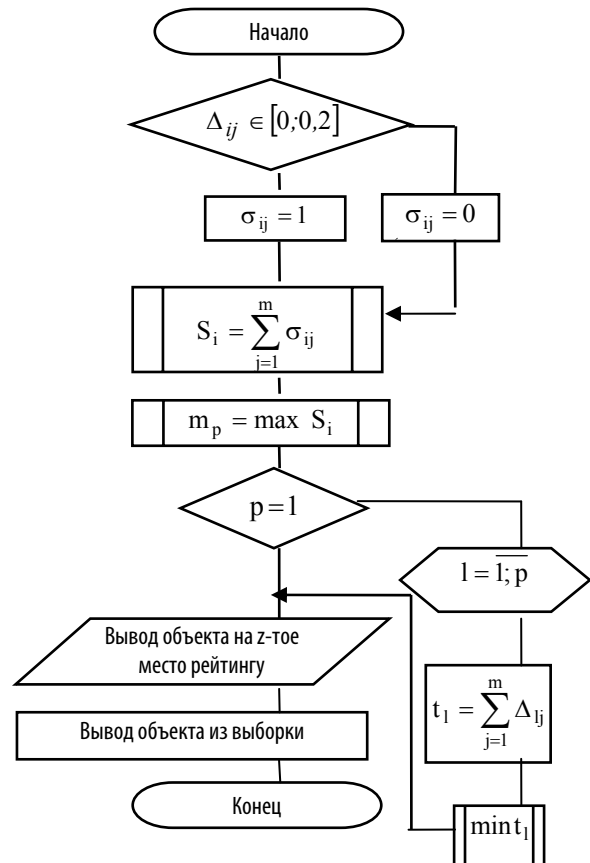
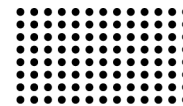
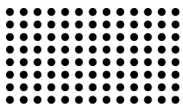


Рисунок 2 – Схема алгоритма определения рейтинга качества по экологическому компаратору

Предложенный подход компараторной идентификации экологического качества сложных систем в данной работе реализован на региональном уровне исследования для определения рейтинга областей Украины по экологичности их состояния ( $X_i$ ):  $X_1$  – Автономная Республика Крым,  $X_2$  – Винницкая,  $X_3$  – Волынская,  $X_4$  – Днепропетровская,  $X_5$  – Донецкая,  $X_6$  – Житомирская,  $X_7$  – Закарпатская,  $X_8$  – Запорожская,  $X_9$  – Ивано-Франковская,  $X_{10}$  – Киевская,  $X_{11}$  – Кировоградская,  $X_{12}$  – Луганская,  $X_{13}$  – Львовская,  $X_{14}$  – Николаевская,  $X_{15}$  – Одесская,  $X_{16}$  – Полтавская,  $X_{17}$  – Ровненская,  $X_{18}$  – Сумская,  $X_{19}$  – Тернопольская,  $X_{20}$  – Харьковская,  $X_{21}$  – Херсонская,  $X_{22}$  – Хмельницкая,  $X_{23}$  – Черкасская,  $X_{24}$  – Черновицкая,  $X_{25}$  – Черниговская.



Анализ осуществлен в рамках девяти параметров глобального уровня исследования и дополнительные параметры экологического состояния области, каждый из которых отвечает за:  $x_{i1}$  – прирост населения за последний год;  $x_{i2}$  – рождаемость;  $x_{i3}$  – количеством умерших возрастом до одного года;  $x_{i4}$  – средняя заработная плата;  $x_{i5}$  – количество безработных работоспособного возраста;  $x_{i6}$  – реализованная промышленная продукция, млн. грн;  $x_{i7}$  – выбросы загрязняющих веществ, тыс. тонн;  $x_{i8}$  – произведено отходов, тыс. тонн;  $x_{i9}$  – утилизировано отходов, тыс. тонн.

Данные регионального мониторинга:

$X_1(2381; 15654; 114; 2927; 56.1; 16864; 137.8; 3709.1; 321.9);$   
 $X_2(0; 11474; 99; 2639; 66.5; 16087.2; 182.7; 3132.6; 855.6);$   
 $X_3(2080; 9768; 61; 2621; 39.9; 7255.7; 50.4; 733.8; 56.3);$   
 $X_4(0; 23521; 197; 3338; 109.8; 152557.7;$   
 $1173.1; 291188; 94763.3);$   
 $X_5(0; 26975; 323; 3787; 177.2; 152185.7; 1714.7;$   
 $56650.7; 13187.8);$   
 $X_6(0; 10000; 80; 2538; 57.3; 11555.1; 85.7; 866.8; 121.6);$   
 $X_7(1621; 11758; 118; 2636; 47.5; 6672.1; 72.1; 561.9; 7.1);$   
 $X_8(0; 11925; 100; 3195; 59.5; 55192.1; 316; 6120.9; 1686.6);$   
 $X_9(1307; 11002; 88; 2692; 45; 14870.8; 249.1; 1782.8; 530.6);$   
 $X_{10}(3179; 13480; 83; 3230; 52.4; 29863.1; 308.1; 3015.9; 571.1);$   
 $X_{11}(0; 6914; 77; 2553; 40.1; 10429.6; 73.8; 40091.2; 18639.5);$   
 $X_{12}(0; 13467; 106; 3345; 69.3; 51432.7; 529.5; 16706.2; 4998.5);$   
 $X_{13}(0; 19506; 162; 2891; 85.4; 22000.8; 253.9; 3350.4; 170.4);$   
 $X_{14}(0; 8494; 70; 3058; 45.8; 15814.9; 87.1; 2475.1; 116.1);$   
 $X_{15}(0; 18807; 177; 2932; 63.4; 18065.2; 169; 1337.2; 46.9);$   
 $X_{16}(0; 9339; 56; 2926; 60.4; 46050.8; 178.9; 6300.2; 4481.9);$   
 $X_{17}(1331; 11379; 96; 2811; 53.7; 10797.2; 60.4; 1281.4; 168.3);$   
 $X_{18}(0; 6849; 37; 2714; 46.3; 15969.5; 80.1; 1261.7; 402);$   
 $X_{19}(0; 7829; 44; 2312; 47.9; 5232.2; 65; 1001.2; 203.7);$   
 $X_{20}(0; 17510; 121; 2990; 89.9; 45742.0; 319.4; 2417.5; 320.6);$   
 $X_{21}(0; 7976; 69; 2437; 44.9; 7899.8; 73.6; 485.6; 74.6);$   
 $X_{22}(0; 9646; 54; 2611; 54; 11871.7; 79.7; 1471.1; 526.4);$   
 $X_{23}(0; 7921; 62; 2645; 57.3; 20903.7; 146.4; 1895.4; 957.8);$   
 $X_{24}(348; 7481; 53; 2483; 33.5; 2889.4; 41.1; 550.5; 117.7);$   
 $X_{25}(0; 6544; 51; 2461; 49; 10235.2; 93.6; 740.6; 103.1). [5].$

По формулам (1, 2) согласно алгоритму (рис. 2) проведены рейтинговые расчеты, в результате которых была получена такая последовательность состояния областей по уровню экологичности: 1. Киевская, 2. Во-

лынская, 3. Автономная Республика Крым 4. Ивано-Франковская 5. Закарпатская 6. Ровенская 7. Черновицкая 8. Запорожская 9. Полтавская, 10. Сумская, 11. Николаевская, 12. Кировоградская 13. Житомирская, 14. Тернопольская, 15. Донецкая, 16. Днепропетровская, 17. Харьковская, 18. Херсонская, 19. Луганская, 20. Львовская, 21. Черниговская, 22. Хмельницкая, 23. Черкасская, 24. Одесская, 25. Винницкая.

Результаты рейтинга совпадают с оценкой состояния экологической безопасности областей Украины по трем классам опасности по интегральному показателю риска (первые 8 мест рейтинга более, чем на 50% имеют низкую оценку риска, а с 9-й позиции преобладает оценка высокого и среднего риска) [6].

Методика оценки экологического соответствия опробована для установления рейтинга наиболее опасных промышленных объектов Харьковской области по данным контроля безопасности их состояния:  $X_1$  – ОАО «ЕВРОЦЕМЕНТ-УКРАИНА»,  $X_2$  – ОАО «Харьковская ТЭЦ-5»,  $X_3$  – Филиал «Теплоэлектроцентраль» ООО «ДВ навтогазовидобування»,  $X_4$  – Змиевская ТЭС ОАО «Центрэнерго». Анализ выполнен в рамках восьми параметров, каждый из которых соответствует количеству выбросов тонн в год определенного вещества:  $x_{i1}$  – металлы и их соединения;  $x_{i2}$  – вещества в виде взвешенных твердых частиц;  $x_{i3}$  – соединения азота;  $x_{i4}$  – диоксид и другие соединения серы;  $x_{i5}$  – оксид углерода;  $x_{i6}$  – неметановые летучие органические соединения;  $x_{i7}$  – метан;  $x_{i8}$  – диоксид углерода.

Начальные данные:

$X_1(0.271; 414.900; 12.305; 0.234; 16.680; 3.819; 1.278;$   
 $10757.0);$   
 $X_2(1; 0.012; 730.800; 323.112; 14.790; 0.211; 15.411;$   
 $825650.300);$   
 $X_3(6.528; 5570.0; 2046.901; 9447.112; 106.241; 0.989;$   
 $9.190; 652136.102);$   
 $X_4(50.791; 41963.611; 8386.600; 99735.322; 874.150;$   
 $5.703; 75.686; 5540141.701). [7].$

Полученный рейтинг по экологической опасности состояния предприятий имеет вид: 1. Змиевская ТЭС ОАО «Центрэнерго» 2. Филиал «Теплоэлектроцентраль» ООО «ДВ навтогазовидобування» 3. ПАО «Харьковская ТЭЦ-5» 4. ПАО «ЕВРОЦЕМЕНТ-УКРАИНА», что соответ-

вует официальным данным, представленным в «Докладе о состоянии окружающей природной среды в Харьковской области в 2012 году» [7].

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В данной работе предложен новый подход к экологической оценке состояния объектов окружающей среды при условии использования элементов компараторной идентификации. Показана дееспособность предложенной методики компараторной идентификации экологичности состояния сложных социально-эколого-экономических систем с различными уровнями организации (рис. 2) – определение рейтинга устойчивого развития стран мира, регионов, промышленных объектов. Таким образом, разработка методологии комплексной оценки качества системных природно-

техногенных объектов и практическое ее применение позволило осуществить:

1) внедрение методики оценки экологического качества сложных объектов при использовании основ теории компараторной идентификации (формулы (1-2), рис. 2) с целью усовершенствования системного анализа для решения задач устойчивого развития;

2) рейтинг стран, областей Украины и промышленных объектов Харьковской области по результатам оценки их социально-экологического состояния и установить их соответствие официальным данным и результатами, представленными в научных работах;

3) эффективное приложение компараторной идентификации для разработки системы оценки состояния сложных природно-техногенных и социально-эколого-экономических систем.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Zgurovskiy M. Z.Global'noye modelirovaniye protsessov ustoychivogo razvitiya v kontekste kachestva i bezopasnosti zhizni lyudey /M.Z. Zgurovskiy, A.D. Gvishiani. – K.: Politehnika, 2008. – 331 s.
2. Petrov K.E. Komparatornaya identifikatsiya modeli formirovaniya indeksa ustoychivogo razvitiya /K.E. Petrov //Sistemni doslidzhennya ta informatsiyi tekhnologii. – 2009. – №1. – S.36-46.
3. Mashina N.I. Ekonomichniy rizik i metodi yogo vimsryuvannya /N.I. Mashina. – K.: Tsentri navchal'noi literaturi, 2003. – 188 s.
4. Bondarenko M.F. Pro zagal'nu teoriyu komparatornoi identifikatsii /M.F. Bondarenko, S.U. Shabanov-Kushnarenko, U.P. Shabanov-Kushnarenko //Bionika intelektu: nauk.-tekhn. zhurnal. – 2008. – №2 (69). – S.13-22.
5. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy – [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
6. Kachynskyy A. B. Ekolohichna bezpeka Ukrainy: systemnyy analiz perspektyv pokrashchennya /A.B. Kachynskyy. – K.: Ekolohichna bezpeka, 2001. – 251 s.
7. Dopovid' pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovishcha u Kharkivs'kiy oblasti u 2012 rotsi – [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: [http://www.menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/regionalni/rehionalni-dopovidi-u-2012-rotsi/kharkivska\\_2012.pdf](http://www.menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/regionalni/rehionalni-dopovidi-u-2012-rotsi/kharkivska_2012.pdf)

**Рецензент:** д.т.н., проф. Шаронова Н.В., НТУ «Харьковский политехнический институт», Харьков.