

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

А. Б. ЛОГОВ, Р. Ю. ЗАМАРАЕВ, А. А. ЛОГОВ

Институт угля и углехимии СО РАН, Кемерово, Россия

e-mail: {a.logov,r.zamaraev}@kemsc.ru, logoff@rambler.ru

We present an introduction to the entropy analysis method for the complex multifactor systems of unique objects. The concepts of entropy transfer and its derivatives are introduced. The principles of mapping of the systems in the phase space are presented. Some features of this method applied to the analysis of Mendeleev periodic system of chemical elements are demonstrated

Моделирование состояния промышленных объектов (предприятий, производственных и территориальных объединений и т.п.) при нестабильной экономике мало продуктивно из-за отсутствия и/или низкой надежности статистических эталонов эффективности. Формальный комплекс соответствующих свойств и условий можно обозначить термином “уникальные объекты” [1].

Для многофункциональных уникальных объектов, описываемых наборами характеристик различной природы (технологическими, техническими, экономическими, экологическими, социальными и т.п.) и разной размерности, нет и не может быть эмпирических правил их совмещения и объединения.

Структурные элементы систем уникальных объектов, очевидно, не могут быть строго упорядочены. По крайней мере не удастся обоснованно выбрать аргументы математических моделей регрессионного типа. К тому же в актуальных и интересных для анализа объектах значительна неоднородность по функциональным свойствам, например, объекты угольной отрасли содержат шахты, обогатительные фабрики, транспортные предприятия и т.д. Неоднородность проявляется также в уровнях служебных показателей.

Применительно к уникальным объектам не определены также виды состояния (диагнозы), и целесообразно ограничиться их феноменологическими представлениями, тем более, что не ставится вопрос обобщения условных заключений. Напротив, целью оперативного анализа становится получение выборочных диагнозов (режим мониторинга) при неявно высказанном предположении, что другие выборки не удастся извлечь.

Функциональный показатель Q моделируется через удельный вес i -го элемента

$$q(i) = Q(i) / \sum_{i=1}^m Q(i). \quad (1)$$

Преобразование, подобное определению вклада элемента в количество информации, которое содержится в выборке показателя, образует модель энтропийного типа

$$J(i) = -q(i) \cdot \ln(q(i)). \quad (2)$$

Модель включает как неотъемлемую часть следующие дополнения:

$$\frac{dJ(i)}{dq(i)} = -\ln(q(i)) - 1, \quad \frac{d^2J(i)}{dq^2(i)} = -\frac{1}{q(i)} \quad \dots \quad (3)$$

Полученное отображение выборки показателя Q в фазовом пространстве с аргументом q представляет собой условную математическую модель объекта. Сходство модели с определением информационной энтропии дало название методу анализа состояния уникальных объектов [2, 3].

Для многофункционального уникального объекта, представленного набором показателей $Q(j)$ при $j = 1, 2, \dots, n$, определение условной модели элемента i при показателе $Q(j)$ имеет вид оценки взвешенных долей

$$J(i/j) = -q(i/j) \cdot \ln(q(i/j)). \quad (4)$$

В практическом анализе используются, как правило, центрированные и нормированные фазовые координаты $U_1 \equiv U_x$, $U_2 \equiv U_y$, $U_3 \equiv U_z$, каждая из которых имеет собственный изменяемый масштаб

$$\begin{aligned} U_x &= \frac{J(i/j) - M[J(j)]}{\epsilon_1 \sigma[J(j)]}, \\ U_y &= \frac{\ln(Q(i/j)) - M[\ln(Q(j))]}{\epsilon_2 \sigma[\ln(Q(j))]}, \\ U_z &= \frac{M[(Q(j)^{-1})] - Q(j)^{-1}}{\epsilon_3 \sigma[(Q(j)^{-1})]}, \end{aligned} \quad (5)$$

где ϵ — коэффициент, устанавливающий правило нормирования.

Выборке с коэффициентом регрессии

$$r = M[U_x(i/j) U_y(i/k)] \quad (6)$$

для пары фазовых координат (U_x, U_y) (или (U_y, U_z)) ставится в соответствие эллиптическая граница устойчивости

$$U_x = A \cdot \cos(t), \quad U_y = -B \cdot \sin(t). \quad (7)$$

В [2] обоснована модель эллипса с полуосями

$$A = \sqrt{2 \left(\frac{m-1}{m} + \frac{2r^2}{1+r^2} \right)}, \quad B = \sqrt{2 \left(\frac{m-1}{m} - \frac{2r^2}{1+r^2} \right)}, \quad |r| \leq \sqrt{\frac{m-1}{m+1}}, \quad (8)$$

а также имеющие с ним общие фокусы — гипербола и сопряженная гипербола, играющие роль дополнительных границ видов состояния. Подчеркнем, что правило выделения видов состояния устанавливается заранее, еще до извлечения выборки.

Переход от матрицы функциональных показателей $Q(i/j)$ размерности $m \times n$ к координатным матрицам $u_1(i/j)$, $u_2(i/j)$ и т.д. представляет собой прямую схему анализа. Дополнительно в ней рассматриваются приемы понижения размерности путем комбинирования моделей характеристик и/или элементов.

Для наиболее полной иллюстрации и строгого тестирования метода проведено исследование исключительно формальными приемами периодической системы химических элементов, представленной 56 характеристиками [3]. В окончательном варианте оставлено 82 элемента, наиболее полно описанных в справочных материалах.

В анализе не использовались порядковые номера и атомные веса элементов, поскольку это было бы слишком явной “подсказкой” методу. Остальные свойства тестового объекта (уникальность, неупорядоченность, неоднородность и т. п.), на наш взгляд, вполне соответствовали условиям моделирования промышленных объектов. Необходимо отметить, что показатели химических элементов являются неаддитивными, поэтому в анализе пришлось сместить отображение на фазовую плоскость ($U_y; U_z$).

Тривиальные результаты, полученные по отдельным характеристикам, полностью подтвердили рабочую гипотезу о соответствии выделенных границами зон фазовой плоскости и видов состояния, представленных здесь подсистемами элементов. В данной работе иллюстрируются возможности энтропийного метода для извлечения знаний.

Обобщенная модель энергии ионизации трех уровней при $\epsilon = 1$ предлагается в форме

$$F(i/9, 10, 11) = F(i/R(9), R(10), R(11)) = \prod_{j=9}^{11} K(i/j)^{\frac{1}{\sigma[\ln(R(j))]}}, \quad (9)$$

где

$$K(i/j) = R(i/j) \prod_{i=1}^m R(i/j)^{\frac{-1}{m}};$$

$$\sigma^2[\ln(R(j))] = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \ln^2(K(i/j));$$

$R(9), R(10), R(11)$ — показатели энергии ионизации по трем уровням.

При проведении технико-экономического анализа промышленных объектов отмечалась аналогия модели $K(i/j)$ с производственной функцией.

Таким образом, производится отображение выборки на ось абсцисс

$$U_2(i/9, 10, 11) = \frac{\ln(F(i/9, 10, 11))}{\sigma[\ln(F(9, 10, 11))]}, \quad (10)$$

где

$$\sigma^2[\ln(F(9, 10, 11))] = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \ln^2(F(i/9, 10, 11)).$$

Подобным образом формируется производная от модели энергии

$$G(i/9, 10, 11) = \frac{1}{\sigma[R^{-1}(j)]} \sum_{j=9}^{11} L(i/j), \quad (11)$$

где

$$L(i/j) = \hat{M}[R^{-1}(j)] - R^{-1}(i/j);$$

$$\sigma[R^{-1}(j)] = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m L^2(i/j).$$

На ось ординат выборка отображается в соответствии с моделью

$$U_3(i/9, 10, 11) = \frac{G(i/9, 10, 11)}{\sigma[G(9, 10, 11)]}, \quad (12)$$

где

$$\sigma^2[G(9, 10, 11)] = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m G^2(i/9, 10, 11).$$

Соответствующий фазовый портрет $U_3(i)(U_2(i))$, где i — номер элемента, представлен на рис. ??.

В области высоких значений энергии как аномалий неустойчивого вида состояния выделяются:

- элементы, сгруппированные в правом верхнем углу таблицы, — столбец инертных газов 8В и строка 2, которая включает кроме газов углерод С и бор В;
- элементы, сгруппированные в верхнем левом углу, — начало строки 2 (Li, Be) и столбец 1А.

Нижние углы таблицы в усеченной выборке не содержатся. В области малых значений энергии четкую аномалию образуют лантаноиды и соседи лантана La по столбцу 3А: иттрий Y и скандий Sc. Внутри эллипса при устойчивом виде состояния портрет четко восстанавливает структуру системы. Для большей наглядности на рис. ?? представлена вспомогательная развертка

$$v(i) = \frac{\sqrt{U_2^2(i) + U_3^2(i)} - M[\sqrt{U_2^2(i) + U_3^2(i)}]}{\sigma[\sqrt{U_2^2(i) + U_3^2(i)}]}, \quad (13)$$

на которой выделены строки и столбцы таблицы. В строках 4, 5 и 6 проявляются сильные особенности изменения рассматриваемого свойства. Кроме того, вкрапление лантаноидов и здесь трактуется как неустойчивое состояние, радикально отличающееся от совокупности.

Итак, тестирование энтропийного метода при анализе самой уникальной и даже единственной в своем роде системы показывает его эффективность. Определенные на основе

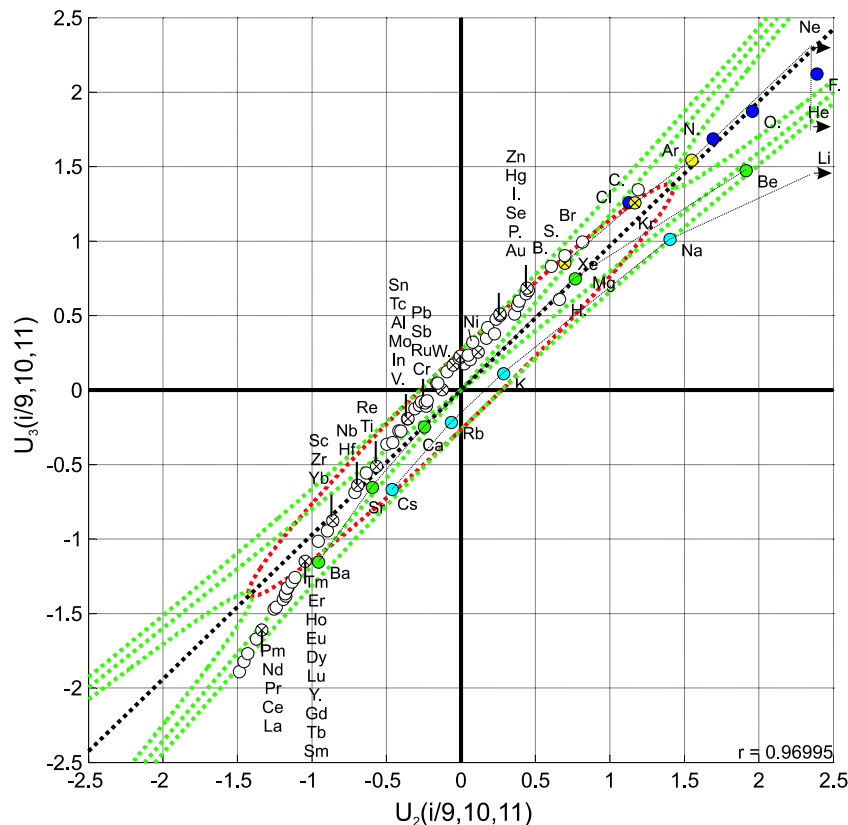


Рис. 1.

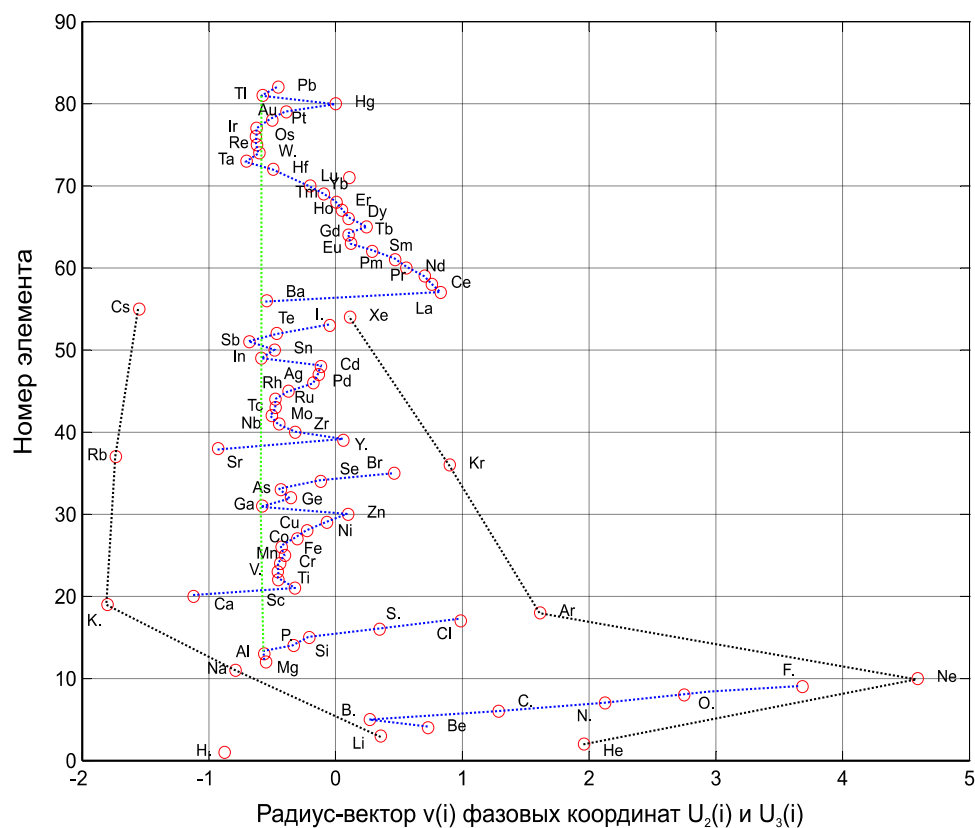


Рис. 2.

фундаментальных критериев границы видов состояния отсекают от совокупности подсистемы, обособленность которых вытекает из классификации и собственного названия.

Метод позволяет выявить ряд достаточно тонких свойств элементов и особенностей их изменения внутри системы, что является по сути извлечением знаний.

Список литературы

- [1] ЛОГОВ А.Б., ЗАМАРАЕВ Р.Ю. Математические модели диагностики уникальных объектов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. 228 с.
- [2] ЛОГОВ А.Б., КОЧЕТКОВ В.Н., РОЖКОВ А.А. Энтропийный подход к моделированию процесса реструктуризации угольной отрасли. М.: Недра, 2001. 324 с.
- [3] ЛОГОВ А.Б., ЗАМАРАЕВ Р.Ю., ЛОГОВ А.А. Анализ функционального состояния промышленных объектов в фазовом пространстве. Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2004. 168 с.

*Поступила в редакцию 11 февраля 2005 г.,
в переработанном виде — 12 мая 2005 г.*