© А.Б. Логов, Н.А. Упорова, 2006

УДК 65

А.Б. Логов, Н.А. Упорова

МОДЕЛЬ РАНЖИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО КОМПЛЕКСНОМУ ВКЛАДУ В УНИКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Семинар № 14

Перенесение принципов и правил технической диагностики на исследование промышленных объектов составило методологию энтропийного анализа состояния [1, 2], в которой понятие ***состояние*** в существенной степени отождествляется с понятием ***диагноз***. Следуя этому, в постановке задачи ранжирования мы выделяем, прежде всего, выявление и классификацию возможных состояний, а затем – предприятий, относящихся к такому типу. Сильнейшим препятствием реализации подобного подхода на нынешней стадии является отсутствие надежных эмпирических эталонов видов состояния горных предприятий, их производственных и территориальных объединений. Несостоятельными оказались попытки найти на практике компетентных экспертов для получения хотя бы начальных приближений к классификациям.

Опыт энтропийного метода анализа обосновал применение ряда фундаментальных критериев для выявления видов состояния, так называемых – уникальных объектов. В данной работе используются границы ординарности, вытекающие из критерия устойчивости.

Основную проблему анализа состояния мы видим в множественности функциональных характеристик горного производства, ни одна из которых не может быть выбрана на роль главной или аргумента. По комплексу причин, изложенных в [1, 2], в выборочном случае не следует использовать осредняющие статистические модели. Обоснование совокупности моделей энтропийного типа послужило для выбора преобразований исходных данных с целью их получения мультипликативных многофакторных моделей. Подобные преобразования составили правила отображения списков показателей горных предприятий на аналоги фазовой плоскости, где вполне успешно решаются многие задачи определения видов состояния.

Для системы элементов $i\ (i = 1, 2, \ldots, A)$, представленной набором валовых характеристик $Q(j)$ при $j = 1, 2, \ldots, B$, в энтропийном методе предложено использовать условные модели выборок данных $I(i/j) = \ln q(i/j)^{-q(i/j)}$, где

$$q(i/j) = Q(i/j) \big/ Q(j); \quad Q(j) = \sum_{i=1}^{A} Q(i/j).$$

На этой основе развита идея моделирования обобщений показателей различной размерности

$$H(i/B1, B2) = \sum_{j=B1}^{B2} I(i/j),$$

и комбинаций свойств

$$H(i/B1, B2; B3, B4) = \sum_{j=B1}^{B2} I(i/j) - \sum_{j=B3}^{B4} I(i/j),$$

которая и является главным обоснованием полезности метода, поскольку дру-

гими приемами сделать такое невозможно. Именно таким способом были получены представления выборочных списков предприятий на аналогах фазовых плоскостей по валовым характеристикам. Для примера можно привести одну из схем образования условных моделей:

$$H(i/\text{ продуктивность}) =$$
$$= I(i/\text{ объем добычи}) - I(i/\text{ численность})$$

Отображение на аналогах фазовых плоскостей в энтропийном методе требует функциональной или, по крайней мере, логической связи между показателями. Это не очень жесткое ограничение осложняет на практике трактовку результатов. Но только благодаря этому в анализе удается сочетать валовые (аддитивные) и удельные показатели систем угледобычи.

В данной работе представляется и обсуждается новый способ сочетания характеристик столь разной природы, использующий следующие определения «удельных весов»

$$\Omega(i/j) = I(i/j) \Big/ \sum_{i=1}^{A} I(i/j)$$

или в общем случае $\Omega(i/j) = H(i/\ldots) \Big/ \sum_{i=1}^{A} H(i/\ldots)$

С поправкой на «цены» элементов $\varphi(i)$ вводятся определения «удельных вкладов»

$$\Omega(i/j;\varphi) = \Omega(i/j)\varphi(i) \Big/ \sum_{i=1}^{A} \left[\Omega(i/j)\varphi(i)\right],$$

т.е. характеристик, согласно которым производится ранжирование элементов и разделение их на виды состояния.

Следуя общим правилам метода, «цены» представим на основе моделей неаддитивных характеристик в виде

$$\varphi(i) = \ln R(i) \Big/ \sum_{i=1}^{A} \ln R(i),$$

поскольку функции $\ln R(i/k)$ являются основой моделей ординат аналогов фазовых плоскостей. Тогда получим форму итоговых моделей «вкладов»

$$\Omega(i/j;\varphi) = \frac{\ln q(i/j)^{-q(i/j)}}{\ln \prod_{j=1}^{B} q(i/j)^{-q(i/j)}} \times$$

$$\times \frac{\ln R(i)}{\sum_{i=1}^{A} \left[\frac{\ln q(i/j)^{-q(i/j)}}{\ln \prod_{j=1}^{B} q(i/j)^{-q(i/j)}} \ln R(i) \right]}$$

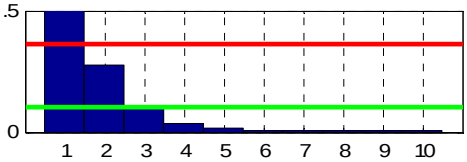
Для исследования метода предложена тестовая задача, позволившая получить представительные результаты моделирования «вкладов» и наглядно выделить особенности их формирования для различных типов выборок «удельных весов» (рис. 1).

В случае моделирования комбинаций можно получить новое определение

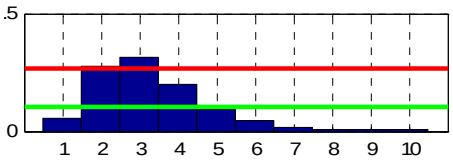
$$\Omega(i/l;\varphi) = \ln \left[\frac{\prod_{j=B_1}^{B_2} q(i/j)^{-q(i/j)}}{\prod_{j=B_3}^{B_4} q(i/j)^{-q(i/j)}} \right] \varphi(i) \times$$

$$\times \left\{ \ln \prod_{i=1}^{A} \left[\frac{\prod_{j=B_1}^{B_2} q(i/j)^{-q(i/j)}}{\prod_{j=B_3}^{B_4} q(i/j)^{-q(i/j)}} \times \varphi(i) \right] \right\}^{-1}$$

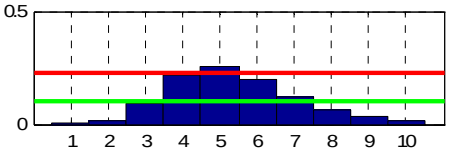
При простейшем обобщении «удельных весов» главную роль в формировании «вкладов» играют различия в моделях «цен» (рис. 2). На первом фрагменте отмечен неординарный «вклад» элемента $i = 1$, а на втором особенность смещается к элементу $i = 2$.



$j = 1$

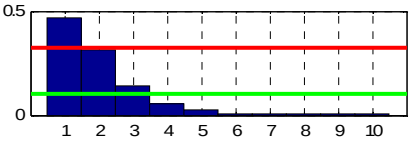


$j = 5$



$j = 10$

Рис. 1. Примеры моделей «вкладов» при простейшем распределении «цен»
($j = \text{var}$; $k = const$).



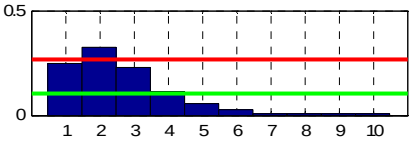
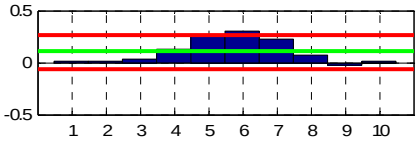
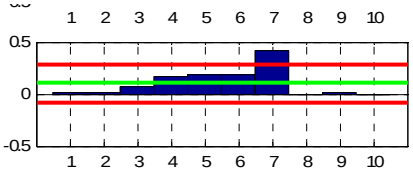


Рис. 2. Примеры изменения «вкладов» при различных формах «цен»
($j = const$; $k = \text{var}$).



$\Omega(i / j)$



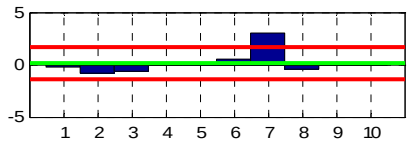
$\Omega(i / j; \varphi)$

Рис. 3. Сопоставление распределений комбинаций «удельных весов» и «вкладов»

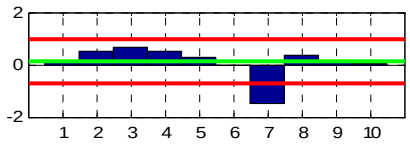
Особую гибкость результатам моделирования придают некоторые типы комбинаций «удельных весов», что отмечается по распределениям «вкладов» (рис. 3). Причем ярко проявляется нелинейная связь исходных и результирующих характеристик, лежащих в основе принятия решения.

Здесь отмечается переход элемента $i = 7$ в неординарный вид состояния при условии, что ни «удельные веса», ни «цены» не достигают в этом месте максимума. Обычно при тестировании в системе выявляется наиболее чувствительный элемент, который может особым образом реагировать на тип комбинации (рис. 4). Вероятность такого эффекта доказывает необходимость детального изучения всей окрестности выборок функциональных показателей систем.

Констатация возможности возникновения столь опасного явления ***«по характеристике*** $I(i / 1) - I(i / 2)$ ***предприятие №7 лучше всех, но по характеристике*** $I(i / 1) - I(i / 5)$



Комбинация №1 $I(i/1)-I(i/2)$



Комбинация №5 $I(i/1)-I(i/5)$

Рис. 4. Проявление неустойчивости элемента $i=7$ ***при разных комбинациях***

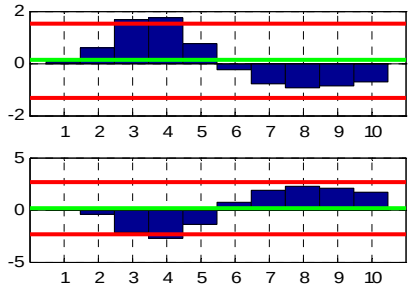


Рис. 5. Модельные «вклады» при ценовой комбинации $\varphi(i/5)-\varphi(i/6)$ ***(выделен переход от*** $j=4$ ***к*** $j=5$ ***)***

является самым худшим» является еще одним неоспоримым основанием идеи математического моделирования.

В определении «цен» также заложена алгоритмическая возможность обобщения и комбинирования. Если, например, характеристики, образующие эти составляющие $R(i/k)$ при $k=1,2,\ldots,C$, группируются в интервале $C1,\ldots,C2$, то можно записать «цены» в виде

$$\varphi(i/C1,C2)=\frac{\alpha(i/C1,C2)}{\beta(C1,C2)},$$

где

$$\alpha(i/C1,C2)=\sum_{k=C1}^{C2}\frac{\ln\left[R(i/k)\prod_{i=1}^{A}R(i/k)^{-1/A}\right]}{\sigma\left[\ln R(k)\right]}=$$

$$=\ln\prod_{k=C1}^{C2}\left[R(i/k)\prod_{i=1}^{A}R(i/k)^{-1/A}\right]^{1/\sigma[\ln R(k)]};$$

$$\beta(C1,C2)=\sum_{i=1}^{A}\sum_{k=C1}^{C2}\frac{\ln\left[R(i/k)\prod_{i=1}^{A}R(i/k)^{-1/A}\right]}{\sigma\left[\ln R(k)\right]}=$$

$$=\ln\prod_{i=1}^{A}\prod_{k=C1}^{C2}\left[R(i/k)\prod_{i=1}^{A}R(i/k)^{-1/A}\right]^{1/\sigma[\ln R(k)]}.$$

Несколько более сложно записывается результат взвешивания по комбинациям моделей «цен». Тестирование позволило показать, что опасное явление неустойчивости состояния может быть порождено сложностью формирования последних. Простейший пример представлен на рис. 5.

Недостаток места не позволяет детально описать организацию теста, поэтому ограничимся только констатацией следующих свойств последней иллюстрации:

- модели $\varphi(i/5)$ и $\varphi(i/6)$ отличаются друг от друга смещением максимума (моды) всего на один элемент системы – от $i=5$ к $i=6$; на наш взгляд такая комбинация легко трактуется;

- модели «удельных весов» при $j=4$ и $j=5$ отличаются смещением также на один элемент, но уже точки перегиба. Формальное отличие между такими моделями минимально, но является значимым в соответствии со структурным критерием [3].

Таким образом, предложенная модель количественного оценивания «вкладов» является весьма продуктивной, поскольку позволяет выявить ряд

тонких и опасных эффектов в состоянии и поведении систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Логов А.Б., Замараев Р.Ю., Логов А.А.* Анализ функционального состояния промышленных объектов в фазовом пространстве. Институт угля и углехимии СО РАН, Кемерово: 2004 – 168 с.
2. *Логов А.Б., Замараев Р.Ю., Логов А.А.* Анализ состояния уникальных объектов (развитие и тестирование). Институт угля и углехимии СО РАН, Кемерово: 2004 – 107 с.
3. *Логов А.Б., Замараев Р.Ю.* Математические модели диагностики уникальных объектов – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999 – 228 с., ил.
4. *Логов А.Б., Замараев Р.Ю., Логов А.А.* Анализ состояния систем уникальных объектов. Вычислительные технологии. Том 10, №5, 2005 – с. 49-53.
5. *Логов А.Б., Замараев Р.Ю., Логов А.А.* Моделирование тенденций поведения элементов систем уникальных объектов. Вычислительные технологии. Том 10, №5, 2005 – с. 54-56.
6. *Логов А.Б., Замараев Р.Ю., Логов А.А.* Алгоритмы энтропийного метода анализа для отображения свойств объекта в фазовом пространстве. Вычислительные технологии. Том 10, №6, 2005 – с. 75-81.

Коротко об авторах

Логов А.Б. - профессор, доктор технических наук,
Упорова Н.А. – инженер,

Институт угля и углехимии СО РАН, Кемерово.

© Н.П. Немчин, 2006

УДК 65

Н.П. Немчин

РЕШЕНИЕ НА ЭВМ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАДАЧИ О ГОРНОМ ДАВЛЕНИИ ПРИ НАЛИЧИИ НЕСКОЛЬКИХ ЗОН НЕУПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Семинар № 14

Осесимметричная задача обычно решается без привлечения численных методов. Однако при наличии более двух зон деформирования вызывает затруднение определение границ между зонами. Желательным является применение ЭВМ и для реализации формул, описывающих напряженно-

деформирован-ное состояние внутри зон, в виду их громоздкости. Ниже излагается алгоритм решения таких задач.

Введем обозначения:

для напряжений $\overset{1}{\sigma} = (\sigma_r, \sigma_\theta)$;

для деформаций $\overset{1}{\varepsilon} = (\varepsilon_r, \varepsilon_\theta)$;

для радиальных перемещений u;

радиус границы между упругой и неупругими зонами r_*;

текущее значение радиуса r.

Пусть для реализации полученных формул создана подпрограмма

dav (r_*, r) со следующим алгоритмом вычислений

1. Вычислить $\overset{r}{\sigma}_*, \overset{r}{\varepsilon}_*, u^*$ при $r = r_*$.
2. Задать номер неупругой зоны, примыкающей к упругой, как i=2 (i=1 для упругой зоны).
3. Если $r_{i+1,i} < r \le r_{i,i-1}$, то вычислить в точке r $\overset{r}{\sigma} = \overset{1}{S}_i; \overset{r}{\varepsilon} = \overset{r}{E}_i; u = U_i$, где $\overset{1}{S}_i, \overset{r}{E}_i, U_i$ - выражения, найденные как правило без привлечения ЭВМ в виде формул и зависящие от $\sigma_r^{i,i-1}$, $u^{i,i-1}$, $r^{i,i-1}$, $\overset{r}{p}, r$. Здесь индексы вверху обозначают, что переменная взята на границе между указанными зонами; $\overset{1}{p}$ - набор постоянных параметров.

Если указанное в начале этого пункта неравенство не выполняется, то перейти к выполнению п. 5.

4. Вычислить критерий перехода к следующей неупругой зоне $h_i(\overset{1}{\sigma}, \overset{1}{\varepsilon}, u, r) \le 0$, определяющий положение границы $r^{i,i+1}$ и равный для точного значения границы нулю.

Выйти из подпрограммы.

5. Если i меньше максимального номера неупругой зоны, то положить i=i+1 и перейти к выполнению п.3. В противном случае выйти из подпрограммы.

Алгоритм основной программы:

1. Ввести параметры задачи $\overset{1}{p}$.
2. Задать все границы $r^{i,\,i+1}$=r_a, где r_a – радиус поверхности выработки.
3. Задать шаг изменения радиуса границы упругой зоны Δr_*.
4. Положить r_{*m}=r_a, r_*=r_a-Δr_*.
5. Положить r_*=r_*+Δr_*; i=1; $r_{1,2}$=r_*.
6. Положить i=i+1.
7. Вызвать подпрограмму *dav*(r_*, r_a).

Если критерий $h_i(\overset{1}{\sigma}, \overset{1}{\varepsilon}, u, r_a) \le 0$, то перейти к выполнению п.12.

8. Если критерий $h_i(\overset{1}{\sigma}, \overset{1}{\varepsilon}, u, r_a) > 0$, то положить r= $(r^{i,\,i+1}+r_a)/2$ и решать задачу одномерной недифференцируемой минимизации

$$f_i(r) = h_i^2(\overset{r}{\sigma}, \overset{r}{\varepsilon}, u, r) \to \min,$$

вызывая для определения h_i подпрограмму *dav* (r_*, r) при каждом значении r, используемом в процессе минимизации. Результатом решения будет r = =r_{opt}, соответствующее значению $h_i(\overset{r}{\sigma}, \overset{r}{\varepsilon}, u, r) = 0$.

9. Положить $r^{i,\,i+1}$=r_{opt}.
10. Вызвать *dav* $(r_*, r^{i,\,i+1})$ и положить $\sigma_r^{i,i+1} = \sigma_r, u^{i,i+1} = u$.
11. Если i меньше максимального номера неупругой зоны, то перейти к выполнению п. 6.
12. Вывести на экран радиус всех осуществившихся зон r_*, $r^{2,\,3}$, …; перемещение контура выработки u_a и давление на контуре $p_a = |\sigma_r^a|$, приводящее массив в равновесие.
13. Если σ_r^a окажется растягивающим напряжением, то вывести сообщение: «Запредельная зона таких размеров не образуется» и закончить расчет.
14. Если σ_r^a - сжимающее напряжение и выполняется условие $r_* \le r_{*m} + 10 \cdot \Delta r_*$, то перейти к выполнению п. 5. Если же $r_* > r_{*m} + 10 \cdot \Delta r_*$, то для дальнейшего детального изучение горного давления ввести два конца нового диапазона $r_{*m} \le r_* \le r_{*p}$; вычислить

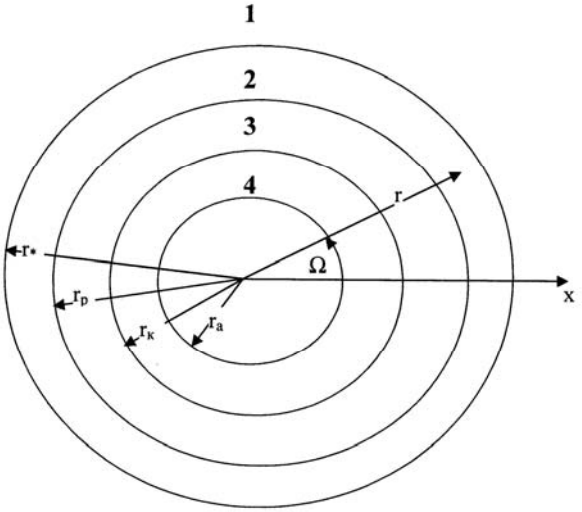


Схема зон вблизи выработки:

С помощью нелинейного про-граммирования находились границы $r^{2,3}$ и $r^{3,4}$.

Во второй зоне условие прочности записывалось в виде

$\sigma_\theta = \beta\sigma_r - \sigma_{сж} + \mathrm{T}\theta$,

где β и T – параметры, $\sigma_{сж}$ – предел прочности на одноосное сжатие, $\theta = \varepsilon_r + \varepsilon_\theta$, сжимающие напряжения и деформации считаются отрицательными.

$\Delta r_* = \dfrac{r_{*p} - r_{*m}}{10}$; положить $r_* = r_{*m}$ и перейти к п. 5.

Программа такого типа была создана автором для расчёта горного давления в одиночных горизонтальных выработках. Предполагается, что при большом давлении в нетронутом массиве возможно возникновение следующих зон деформирования: 1) внешняя упругая зона; 2) зона с постоянным снижением прочности и увеличением объема вследствие разрыхления; 3) зона предельно разрушенной породы с увеличивающимся разрыхлением; 4) зона предельно разрыхленной породы (см. рисунок). Выражения S_i, E_i, U_i для каждой из зон публикуются в отдельной статье.

Остаточная прочность $\sigma_{сж}$ - $\mathrm{T}\theta$=0 на границе $r^{2,3}$ и в третьей зоне. Критерий перехода от второй зоны к третьей

$h_2(\breve{\sigma}, \breve{\varepsilon}, u, r) = \mathrm{T}\theta - \sigma_{сж} \le 0$.

В четвёртой зоне и на границе $r^{3,4}$

$\theta = \theta_{пр}$,

где $\theta_{пр}$ – предельное значение относительного объёмного расширения в условиях объёмно сжатого массива. Критерий перехода между третьей и четвёртой зонами

$h_3(\breve{\sigma}, \breve{\varepsilon}, u, r) = \theta - \theta_{пр} \le 0$.

Созданная программа *VESOP* позволяет легко решать такие задачи: 1) построение кривой горного давления $p_a = p_a(u_a)$; 2) определение p_a при заданном u_a; 3) определение u_a при заданном p_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баклашов И.В.* Геомеханика: Учебник для вузов в 2 т./ И.В. Баклашов, Б.А. Картозия, А.Н. Шашенко, В.Н. Борисов. – М.: Изд. МГГУ, 2004. – Т.2 Геомеханические процессы. – 249 с.

2. *Гилл Ф.* Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Моррей, М. Райт. – М.: 1988. – 509 с.

Коротко об авторах

Немчин Николай Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и строительной механики Читинского государственного университета.