УДК
622.268.13:
622.281.5

Е.И. Журавлев

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУППИРОВКИ И ОКОНТУРИВАНИЯ ОЧАГОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ, С УЧЕТОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Пространственное моделирование группировки и оконтуривания очагов динамических явлений на основе их расположения, с учетом энергетических составляющих описаны модели и алгоритмы последовательности действий для достижения оптимальной группировки и оконтуривания области динамических явлений, похожих по их признакам. Данная статья описывает применение методов кластеризации множества очагов динамических явлений зарегистрированных или спрогнозированных в массиве горных пород для группировки этих очагов по параметрам похожести, таких как расстояние, местоположение и энергия явления.
Ключевые слова: группировка, оконтуривание, имитационное моделирование, программный инструментарий, агентное моделирование.

Динамические явления, происходящие в угольных шахтах, значительно увеличивают риски неблагоприятных проявлений и сопутствующих им аварий и понижения безопасности ведения горных работ. Для своевременной идентификации подготовительных процессов в массиве горных пород применяются геоинформационные системы мониторинга, основанные на применении различных методов наблюдения за напряженно-деформированным состоянием, таких как сейсмический, сейсмоакустический, тензометрический, терморадиационный и др. Чтобы заблаговременно предупредить работников шахты о приближающихся неблагоприятных проявлениях динамических явлений используются системы прогноза динамических

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 3. С. 375–382.
© 2017. Е.И. Журавлев.

явлений. Подобные системы прогноза динамических явлений основаны на анализе и оценки степени опасности зарождающихся явлений, с учетом текущих изменений.

Системы прогноза динамических явлений в массиве горных пород проводят оценку уровня опасности на различных участках шахтного поля на основе статистики распределения очагов динамических явлений в массиве горных пород и величин их энергетических составляющих. Подобные системы прогноза используют алгоритмы двух видов: иерархические и плоские или четкие и нечеткие. Иерархические алгоритмы строят множество разбиений исходной выборки, которые представляют собой систему вложенных непересекающиеся кластеры. Результатом работы такого алгоритма является дерево кластеров, корнем которого является вся выборка, а листьями – подгруппы исходной выборки. Четкие алгоритмы каждому объекту выборки ставят в соответствие номер кластера, т.е. каждый очаг динамического явления будет принадлежать только одной подгруппе. Нечеткие алгоритмы ставят в соответствие набор вещественных значений, показывающих степень отношения объекта к кластерам. Итогом работы такого алгоритма будет разбиение объектов относящихся к каждому кластеру с некоторой вероятностью. В своей основе алгоритмы, по которым системы прогноза производят оценку влияния динамических явлений, содержат понятие кластеризации, т.е. разбиения множества очагов динамических явлений на группы, похожими между собой некоторыми характеристиками. Характеристиками степенью похожести объектов в группе могут быть различные параметры: расстояние от центра масс группы, местоположения объектов, энергетические составляющие динамических явлений. В зависимости от выбора фактора, который будет определять степень похожести объектов в группе, а именно формирование самих групп объектов, напрямую зависит картина распределения зарегистрированных или спрогнозированных очагов динамических явлений в массиве горных пород, а, следовательно, и степень опасности этих явлений будет разная. Чтобы выявить какой из факторов похожести объектов значительньнее влияет на результат оценки степени опасности группы очагов динамических явлений, была создана модель группировки очагов, адаптивная к выбору фактора похожести объектов в группе.

Входными данными модели группировки очагов динамических явлений являются следующие параметры: расстояние от центра масс группы, местоположения очагов динамических

Метрики расчета расстояний между объектами группы

Название	Формула записи	Описание
Евклидово расстояние	$p(x, x'') = \sqrt{\sum_i^n \left(x_i - x_i'\right)^2}$	применяется при преимущественном содержании в группе объектов с одинаковыми характеристиками
Квадрат евклидова расстояния	$p(x, x'') = \sum_i^n \left(x_i - x_i'\right)^2$	применяется для придания большего веса более отдаленным друг от друга объектам
Расстояние городских кварталов (манхэттенское расстояние)	$p(x, x'') = \sum_i^n \left\|x_i - x_i'\right\|$	вычисляется как средняя разность по координатам. влияние отдельно стоящих очагов – выбросов минимизируется, т.к. используется возведение в квадрат
Расстояние Чебышева	$p(x, x'') = \max\left(\left\|x_i - x_i'\right\|\right)$	применение данной меры полезно при выявлении очагов с различными координатами
Степенное расстояние	$p(x, x'') = \sqrt[r]{\sum_i^n \left(x_i - x_i'\right)^p}$	данная мера похожести применяется, если необходимо увеличить или уменьшить вес, какой-либо размерности, по которой сравниваемые объекты сильно отличаются

явлений в массиве горных пород, энергетические составляющие динамических явлений. Параметр расстояния от центра масс до каждого из очагов имеет большое значение, т.к. в зависимости от этой величины количество и размер групп значительно варьируются. В таблице приведены сравнительные характеристики различных методов расчета расстояния между объектами, каждый из которых используется в зависимости от типа объектов, входящих в группу.

Модель группировки очагов динамических явлений является адаптивной к изменению данных, характеризующих похожесть объектов в группе, т.к. она содержит обратную связь, которая в зависимости от вида изменения входных данных в автоматическом режиме перестраивает расчеты по группировки выбранных объектов по установленным группам. Схематично

Рис. 1. Модель работы алгоритма группировки очагов динамических явлений

модель работы алгоритма группировки очагов динамических явлений изображена на рис. 1.

Выходными значениями алгоритма группировки очагов динамических явлений будет набор подмножеств точек исходного набора очагов зарегистрированных или спрогнозированных динамических явлений.

Алгоритм выявления группы [1, 2] очагов динамических явлений подразумевает группировку [4, 5] исходного множества динамических явлений по подгруппам похожими по своим характеристикам, который представлен ниже:

1. Для выделения групп очагов явлений из множества зарегистрированных событий необходимо разбить все пространство на ячейки.

При этом необходимо учитывать 2 ограничения:

а) сторона ячейки должна быть равна: $a = 2^k$, где k – коэффициент сетки;

б) максимальное расстояние между очагами в группе должно удовлетворять условию: $R < 2^k$.

2. Чтобы не повышать время работы алгоритма кластеризации пространства, необходимо за один проход по координатам местоположения очагов динамических явлений произвести их взаимную группировку. Для этого необходимо выполнение следующей последовательности действий:

а) оценка очередного очага явления: если он не привязан к группе, то создается новая группа и очаг добавляется в нее;

б) анализ списка ячеек пространства, в каждый список ячейки содержит наименование текущей ячейки с точкой, а также перечень соседних с ней ячеек;

в) перебираются все точки ячеек из полученного списка;

г) вычисляется расстояние между текущей точкой и проверяемой из списка, если расстояние $<=R$, то возможны 2 случая:

• проверяемая точка пока не входит в группу, тогда точка вносится в туже группу, что и текущая точка;

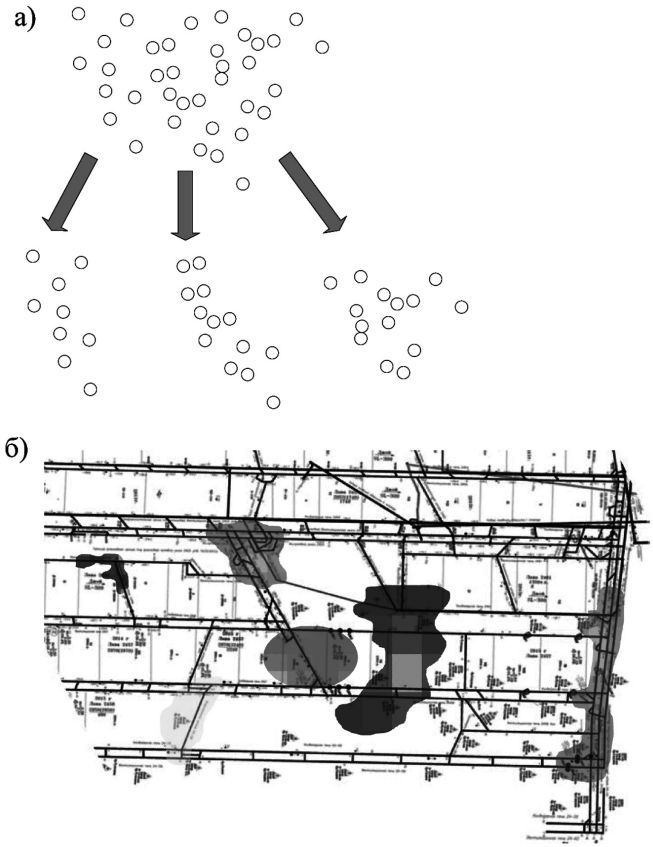

Рис. 2. Модель выявления групп очагов и их оконтуривание

• проверяемая точка уже принадлежит какой-то группе, отличной от текущей, тогда группа с большим количеством точек поглощает группу с меньшим количество точек.

Результатом работы алгоритма группировки очагов, похожих по своему местоположению в пространстве массива горных пород, будет набор групп, в каждой из которых расстояние между очагами не превышает заданное расстояние похожести.

Задача оконтуривания [3] некоторой области очагов в пространстве заключается в ограничении граничных очагов выбранной группы плоскостью. Наиболее распространенным является построение плоскости по трем точкам и ограниченную ими. В конечном счете, оконтуренная область группы очагов представляется в виде выпуклого многогранника. Алгоритм ос-

новывается на построении плоскости по трем очагам. Для выделения выпуклого контура важно знать знак векторного произведения этих трех очагов. Если результат функции векторного произведения меньше 0, то изгиб в средней точке идет по часовой стрелке, если больше нуля, то против часовой стрелки, если равен нулю, то изгиба нет.

Алгоритм оконтуривания группы [6, 7, 8] очагов динамических явлений представлен следующими пунктами:

1. вычисление центра масс группы очагов;
2. нахождение 3х самых отдаленных от центра масс очагов;
3. построение начальной плоскости через самые отдаленные 3 очага;
4. перебор оставшихся очагов группы на вхождение нового очага в построенную грань на основе интегральной теоремы Коши;
5. построение следующей грани через две точки из построенной грани и одну, не лежащую в контуре;
6. сортировка массива очагов по принципу отдаленности от центра масс группы в полярных координатах.

Результатом работы алгоритма окажется пространственная фигура, ограничивающая группу очагов динамических явлений, схожих по их местоположению в пространстве массива горных пород, и будет представлять собой множество граней из треугольных плоскостей, ограниченных наиболее удаленными очагами выбранной группы объектов.

Время расчета оптимальной группировки заданного множества очагов динамических явлений зависит от следующих па-

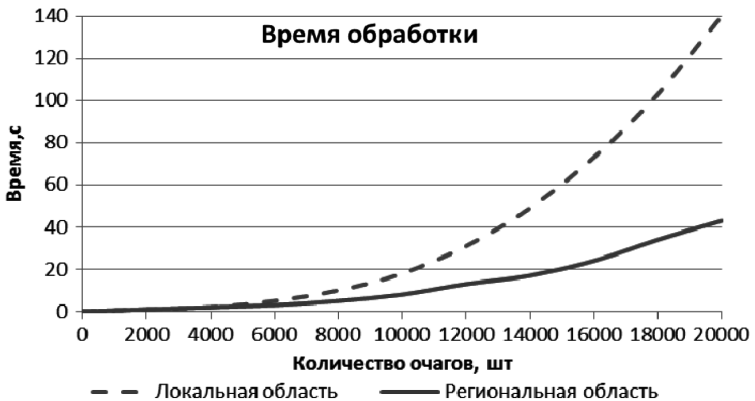

Рис. 3. Сравнение времени обработки на локальных и региональных участках шахты

раметров: расстояние между очагами в группе; размер области, на которой производится расчет и количество динамических событий, зафиксированных в наблюдаемом регионе. Если задать большое расстояние между очагами в группе в массиве горных пород с высокой плотностью очагов, время расчета модели группировки вырастает в разы, т.к. количество сравниваемых точек возрастает. На рис. 3 видно, что скорость работы модели расчета группировки очагов динамических явлений отличается в три раза. На локальных участках шахты для обработки 20 тыс. очагов на расчет модели группировки событий понадобилось порядка 140 с, а в случае региональной области наблюдения за динамическими событиями всего 40 с для тех же 20 тыс. точек.

Выводы

Для предотвращения неблагоприятных проявлений динамических явлений на предприятиях угольной промышленности необходимо использовать помимо систем непрерывного мониторинга напряженно-деформированного состояния массива горных пород систему прогнозирования локального, регионального и текущего оценки состояния углепородного массива совместно с системой поддержки принятия решений. Система анализа и прогноза должна содержать модели и алгоритмы группировки очагов динамических явлений для отбора источников явлений похожих между собой по заданным параметрам и последующего их оконтуривания, для определения расположения зоны их концентраций и степени опасного влияния на зоны производственных участков горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К.* Алгоритмы. Построение и анализ = Introduction to Algorithms, 2-е изд. – Вильямс, 2005.

2. *Джефри Макконнелл.* Анализ алгоритмов. Активный обучающий подход. – М.: Техносфера, 2009.

3. *Чабан Л. Н.* Теория и алгоритмы распознавания образов. Учебное пособие. – М.: МИИГАиК. 2004. – 70 с.

4. *Жамбю М.* Иерархический кластер-анализ и соответствия. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 345 с.

5. Классификация и кластер / Под ред. Дж. Вэн Райзина. – М.: Мир, 1980. – 390 с.

6. *Горелик А. Л.*, *Скрипкин В. А.* Методы распознавания, 4-е изд. – М.: Высшая школа, 2004. – 262 с.

7. *Вапник В. Н.*, *Червоненкис А. Я.* Теория распознавания образов. – М.: Наука, 1974. – 416 с.

8. *Васильев В. И.* Распознающие системы. Справочник, 2-е изд. – К.: Наукова думка, 1983. – 424 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Журавлев Евгений Игоревич – аспирант,
e-mail: engene@mail.ru,
ИПКОН РАН.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 3, pp. 375–382.

UDC
622.268.13:
622.281.5

E.I. Zhuravlev

SPATIAL MODELING GROUPS AND CONTOURS OF FOCUSES DYNAMIC PHENOMENA BASED ON THEIR LOCATION AND ENERGY COMPONENTS

In the article modeling of spatial groupings and delineate the centers of dynamic phenomena based on their location, taking into account the energy components described models and algorithms for sequence for optimal groupings and delineate the area of dynamic phenomena similar on their grounds. This article describes the application of clustering centers of the plurality of dynamic phenomena registered or forecasted in the rock mass to group these centers of similarity parameters, such as distance, location and energy phenomena.

Key words: grouping, contouring, simulation modeling, software tools, agent-based modeling.

AUTHOR

Zhuravlev E.I., Graduate Student, e-mail: engene@mail.ru,
Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Kormen T. , Leyzerson Ch., Rivest R., Shtayn K. *Algoritmy. Postroenie i analiz = Introduction to Algorithms*, 2-e izd. (Algorithms. Construction and analysis = Introduction to Algorithms, 2-e изд.), Vil'yams, 2005.

2. Dzhefri Makkonnell. *Analiz algoritmov. Aktivnyy obuchayushchiy podkhod* (Analysis of algorithms. Dynamic teaching approach), Moscow, Tekhnosfera, 2009.

3. Chaban L. N. *Teoriya i algoritmy raspoznavaniya obrazov. Uchebnoe posobie* (Image identification theory and algorithms. Educational aid), Moscow, MIIGAiK, 2004, 70 p.

4. Zhambyu M. *Ierarkhicheskiy klaster-analiz i sootvetstviya* (Hierarchical cluster—correspondence analysis), Moscow, Finansy i statistika, 1988, 345 p.

5. *Klassifikatsiya i klaster*. Pod red. Dzh. Ven Rayzina (Classification and cluster. Dzh. Ven Rayzin (Ed.)), Moscow, Mir, 1980, 390 p.

6. Gorelik A. L., Skripkin V. A. *Metody raspoznavaniya, 4-e izd.* (Identification methods, 4th edition), Moscow, Vysshaya shkola, 2004, 262 p.

7. Vapnik V. N., Chervonenkis A. Ya. *Teoriya raspoznavaniya obrazov* (Image identification theory), Moscow, Nauka, 1974, 416 p.

8. Vasil'ev V. I. *Raspoznayushchie sistemy*. Spravochnik, 2-e izd. (Recognition systems. Handbook, 2nd edition), Kiev, Naukova dumka, 1983, 424 p.