

КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 681.513.3

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

Я.Р.Козуч, С.Ф.Кукурудз, В.М.Королик, Н.В.Сабат, І.І.Чизур, М.В.Шавранський

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (03422) 46067
e-mail: public@nimg.edu.ua

Розглянуто питання кластеризації даних методами нечіткої логіки. Описано алгоритм кластеризації. Проаналізовані необхідні для проведення кластеризації вхідні дані і розроблено програмне забезпечення на основі пакету Matlab. Описано алгоритм роботи програми нечіткої кластеризації і наведено результати її роботи. Спроектвана система автоматизованого контролю властивостей гірських порід на основі нечіткої кластеризації і системи «Контур-2».

Ключові слова: нечітка логіка, кластеризація, контроль, система «Контур-2»

Rассматривается вопрос кластеризации данных методами нечеткой логики. Описан алгоритм кластеризации. Проанализированы необходимые для проведения кластеризации входные данные и разработано программное обеспечение на базе пакета Matlab. Описан алгоритм работы программы нечеткой кластеризации и приведены результаты ее работы. Спроектирована система автоматизированного контроля свойств горных пород на основе нечеткой кластеризации и системы «Контур-2».

Ключевые слова: нечеткая логика, кластеризация, контроль, система «Контур-2»

The given article deals with the issue of data clusterization by means of fuzzy logic. The algorithm of clusterization is described. The article includes the analysis of the input data, needed for conveying clusterization, and the software, based on Matlab package. The work algorithm of the fuzzy clusterization program and the results of this work are also described. The system of the computerized testing of rock properties is based on the fuzzy clusterization and the Kontur-2 system.

Keywords: fuzzy logic, clustering, monitoring, system of «Kontur-2»

I. Вступ

Оцінка фізико-механічних властивостей гірських порід в процесі буріння нафтових і газових свердловин є важливим технічним завданням [1,2]. Вона дає змогу визначити геологічний розріз свердловин у процесі пошукового буріння чи уточнити його під час спорудження експлуатаційних свердловин. Достовірні знання про твердість, міцність, абразивність і буримість гірських порід дають змогу проводити буріння в оптимальних умовах, раціонально використовувати бурові долота, зменшувати кількість аварійних ситуацій у процесі буріння. А, загалом, скоротити витрати на спорудження свердловин.

Контактні (лабораторні) методи не дають змоги оцінити властивості гірських порід в реальному часі. Безконтактні методики контролю фізико-механічних властивостей гірських порід забезпечують систему автоматичного керування поточною інформацією [4], що створює мо-

жливість оперативного визначення межі однорідних пластів гірських порід.

II. Постановка завдання

Для оцінки властивостей гірських порід безконтактним методом пропонується використовувати такі параметри: тип долота, осьову силу на долото, частоту обертання бурової колони, проходку і час буріння, витрату бурового розчину, а також поточну глибину свердловини. Метою оцінювання є отримання показника буримості K_f на основі перелічених параметрів, тобто

$$K_f = f[h(t), P(t), n(t), d(t)],$$

де: $h(t)$ – проходка на долото,
 $P(t)$ – осьова сила на долоті,
 $n(t)$ – частота обертання долота,
 $d(t)$ – параметри долота (діаметр долота, кількість шарошок і кількість зубців на шарошках, зношування долота).

Оскільки, дана проблема не повністю вивчена авторами статті, розроблено алгоритм і програмне забезпечення контролю стану гірських порід в процесі буріння. Алгоритм базується на методах нечіткої кластеризації.

III. Результати

Кластеризація (кластерний аналіз) – це сукупність операцій, що дають змогу сформувати класи даних, тобто групи значень, які задовольняють певним заданим властивостям. В основі кластеризації лежить розбиття множини вхідних значень на деякі підмножини - кластери, в яких елементи володіють схожими властивостями [3].

Під час кластеризації мають виконуватись такі умови:

- всі об'єкти, які підлягали кластеризації, мають бути включені до відповідних кластерів, причому лише один раз.

- кластери мають бути взаємовиключними;

- кластер має бути скінченною сукупністю об'єктів з спільними властивостями.

Спільним між кластеризацію і теорією нечітких множин можна вважати те, що під час пошуку приналежності даних певному класу, ми отримаємо не двійкову відповідь «ТАК–НІ», а ступінь приналежності в інтервалі [0,1].

Під час кластеризації вводяться дві скінченні множини: об'єктів A і ознак B так щоб $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ і $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$, причому елементи множини B є характеристиками об'єктів множини A . Кожен елемент множини $a_i \in A$ представлений вектором $x_i = \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^q\}$, де $x_i^j \in R$ – дійсне значення ознаки $b_j \in B$ для об'єкта $a_i \in A$.

Вектори значень ознак $x_i = \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^q\}$ представляють у вигляді матриці $D(n,q)$. На основі даних якої визначають нечітке розбиття $R(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ або нечітке покриття $J(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ множини A на задане число нечітких кластерів $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, яке дає змогу визначити екстремум деякій цільовій функції $F(R(A))$ серед всіх нечітких розбиттів чи екстремумів цільової функції $F(J(A))$ серед всіх можливих нечітких покриттів.

Шукані нечіткі кластери являють собою нечіткі множини $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, які є нечітким покриттям початкової множини об'єктів кластеризації A , для якої має місце така умова:

$$\sum_{k=1}^c \mu_{A_k}(a_i) = 1, (\forall a_i \in A),$$

де c – загальна кількість нечітких кластерів $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$ – задається користувачем.

Відтак для кожного кластеру вводяться центри v_k шуканих нечітких кластерів

$A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, які розраховуються за такою формулою:

$$v_j^k = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{A_k}(a_i))^m x_i^j}{\sum_{i=1}^n (\mu_{A_k}(a_i))^m}, (\forall k \in \{2, \dots, c\}, \forall b_j \in B),$$

де m – експоненційна вага ($m > 1, m \in R$).

Кожний з центрів кластерів є вектором $v_k = (v_k^1, v_k^2, \dots, v_k^q)$ в деякому q -вимірному нормованому просторі ознак, який ізоморфний R^q , якщо всі ознаки виміряні за шкалою відношень.

Як цільову функцію будемо розглядати суму квадратів зважених відхилень координат об'єктів кластеризації від центрів нечітких кластерів:

$$F(A, v^j) = \sum_{k=1}^c \sum_{a=1}^c (\mu_{A_k}(a))^m \sum_{j=1}^q (x^j - v^j)^2.$$

Для заданої матриці даних D , кількості нечітких кластерів $c \in N, c > 1$, параметра m , визначити матрицю U значень функції належності об'єктів кластеризації $a \in A$ нечітким кластерам $A (k \in \{2, \dots, c\})$, які досягають мінімум цільової функції і задовольняють обмеженням:

$$\sum_{i=1}^n \mu_{A_k}(a_i) > 0, (\forall k = \{2, \dots, c\})$$

$$\mu_{A_k}(a_i) \geq 0 (\forall k = \{2, \dots, c\}, a_i \in A).$$

Умови виключають появу пустих нечітких кластерів в шуканій нечіткій кластеризації. Таким чином, мінімізація цільової функції мінімізує відхилення всіх об'єктів кластеризації від центрів нечітких кластерів пропорційно до значень функцій належності цих об'єктів відповідним нечітким кластерам.

Множину ознак виберемо так, щоб $x_i^j \in R$ визначались за шкалою відношень або інтервалів.

Для розв'язання задач нечіткої кластеризації використовується алгоритм нечітких середніх значень (Fuzzy-C-Means). В програмному пакеті Matlab цей алгоритм реалізований під назвою FCM.

Алгоритм FCM має ітеративний характер послідовного покращення деякого початкового нечіткого розбиття $R(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$, яке задається користувачем або формується автоматично за деяким евристичним правилом. На кожному кроці ітерації обчислюється значення функцій належності нечітких кластерів і їх типових представників.

Алгоритм FCM завершує роботу у випадку, коли відбудеться наперед задане число ітерацій, або коли мінімальна абсолютна різниця між значеннями функцій належності на двох послідовних ітераціях не стане меншим деякого наперед заданого значення.

Формально алгоритм FCM можна представити у вигляді наступних кроків:

1. Попередньо необхідно задати наступні значення: кількість шуканих нечітких кластерів s . В якості початкового розбиття на першій ітерації алгоритму для матриці даних D задається деяке нечітке розбиття $R(A) = \{A_k | A_k \subseteq A\}$ на s непустих нечітких кластерів, які описуються сукупністю функцій належності $\mu_k(a_i), \forall k \in \{2, \dots, c\}, \forall a_i \in A$.

2. Сформувані нове нечітке розбиття $R'(A) = \{A_k | A_k \subseteq A\}$ множини об'єктів класифікації A на s непусті нечіткі кластери, які характеризуються сукупністю функцій належності $\mu_k^1(a_i), \forall k \in \{2, \dots, c\}, \forall a_i \in A$, що визначаються за формулою:

$$\mu_k^1(a_i) = \left(\frac{\sum_{l=1}^c \left(\frac{\sum_{j=1}^q (x_i^j - v_l^j)^2}{\sum_{j=1}^q (x_i^j - v_k^j)^2} \right)^{\frac{1}{m-1}}}{\sum_{l=1}^c \left(\frac{\sum_{j=1}^q (x_i^j - v_l^j)^2}{\sum_{j=1}^q (x_i^j - v_k^j)^2} \right)^{\frac{1}{m-1}}} \right)^{-1},$$

$\forall k \in \{2, \dots, c\}, \forall a_i \in A$.

При цьому, якщо для деякого $k \in \{2, \dots, c\}$ і

деякого $a_i \in A$ значення $\sum_{j=1}^q (x_i^j - v_k^j)^2 = 0$,

тоді для відповідного нечіткого кластеру A_k беремо $\mu_k^1(a_i) = 1$, а для інших кластерів $A_l (\forall l \in \{2, \dots, c\}, l \neq k)$ беремо $\mu_l^1(a_i) = 0$.

Якщо ж таких значень $k \in \{2, \dots, c\}$ виявиться декілька для $a_i \in A$, тоді евристично беремо $\mu_k^1(a_i) = 1$ для меншого з них, а для інших – $\mu_l^1(a_i) = 0$.

3. Для нового нечіткого розбиття $R'(A) = \{A_k | A_k \subseteq A\}$ за формулою

$\sum_{k=1}^c \mu_{A_k}(a_i) = 1, (\forall a_i \in A)$ розраховуємо центри нечітких кластерів і значення цільової функції.

4. Якщо кількість виконаних ітерацій більше за s , або модуль різниці між попереднім і новим значенням цільової функції менше за $\varepsilon \in R_+$, тоді як результат прийняти нечітке розбиття $R'(A) = \{A_k | A_k \subseteq A\}$ і завершити виконання алгоритму. Інакше вважати поточним розбиттям $R(A) = R'(A)$ і перейти на крок 2, збільшивши на 1 кількість виконаних ітерацій.

В результаті виконання алгоритм зводиться до деякого локально-оптимального розбиття $R^*(A)$, яке описується сукупністю функцій

належності $\mu_k(a_i)$, а також центрами нечітких класів $v_k = (v_k^1, v_k^2, \dots, v_k^q)$.

Даний алгоритм можна застосувати для визначення властивостей гірських порід у процесі буріння нафтових і газових свердловин. На рис. 1 зображено алгоритм визначення властивостей гірських порід, розроблений авторами.

Для цього розроблено програму в середовищі Matlab. Дані для обробки отримані від системи контролю і управління процесом буріння "Контур-2".

За показник, що характеризує зміну властивостей гірських порід, вибрано інтенсивності зносу долота [1-2]. На основі цього показника і залежно від глибини проводиться кластерний аналіз вибраних даних. Після кластеризації отримуємо значення кластерів, тобто значення параметра, який є спільним для всього інтервалу. Для покращення отриманих результатів необхідно проводити кластеризацію на невеликих інтервалах глибин. На основі експериментальних даних і перевірки алгоритму виявлено, що необхідний інтервал не має перевищувати 50м, тобто потрібно визначити один кластер на 50м поглиблення свердловини. За достатньо великої зміни значень кластерів в двох суміжних інтервалах можна судити про зміну властивостей гірських порід. Програма функціонує за таким алгоритмом:

- введення даних (проходка на долото, глибина свердловини, час буріння, час СПО);
- перевірка вхідних даних – у випадках некоректності виводиться повідомлення про технічну несправність давачів або пошкодження вхідних даних;
- вибір кількості інтервалів кластеризації;
- обчислення необхідних параметрів і налаштувань;
- кластеризація даних;
- аналіз отриманих даних і виведення їх.

Графічний результат виконання даної програми наведений на рис. 2. На ньому представлено кластерний аналіз даних на інтервалі 300-1500м, причому вибрано для демонстрації 5 кластерів (зафарбовані кружечки).

За результатами виконання програми видно, що на глибині 650-750м відбувається різка зміна інтенсивності зносу долота, причому досить значне відхилення між двома сусідніми кластерами дає змогу говорити про зміну властивостей гірських порід, а одночасно про зміну буримості на даному інтервалі, що свідчить про те, що розроблений алгоритм і програмне забезпечення дають суттєві результати і можуть у разі їх впровадження суттєво спростити роботу бурового майстра або зменшити кількість аварій, пов'язаних з помилками оператора бурової установки.

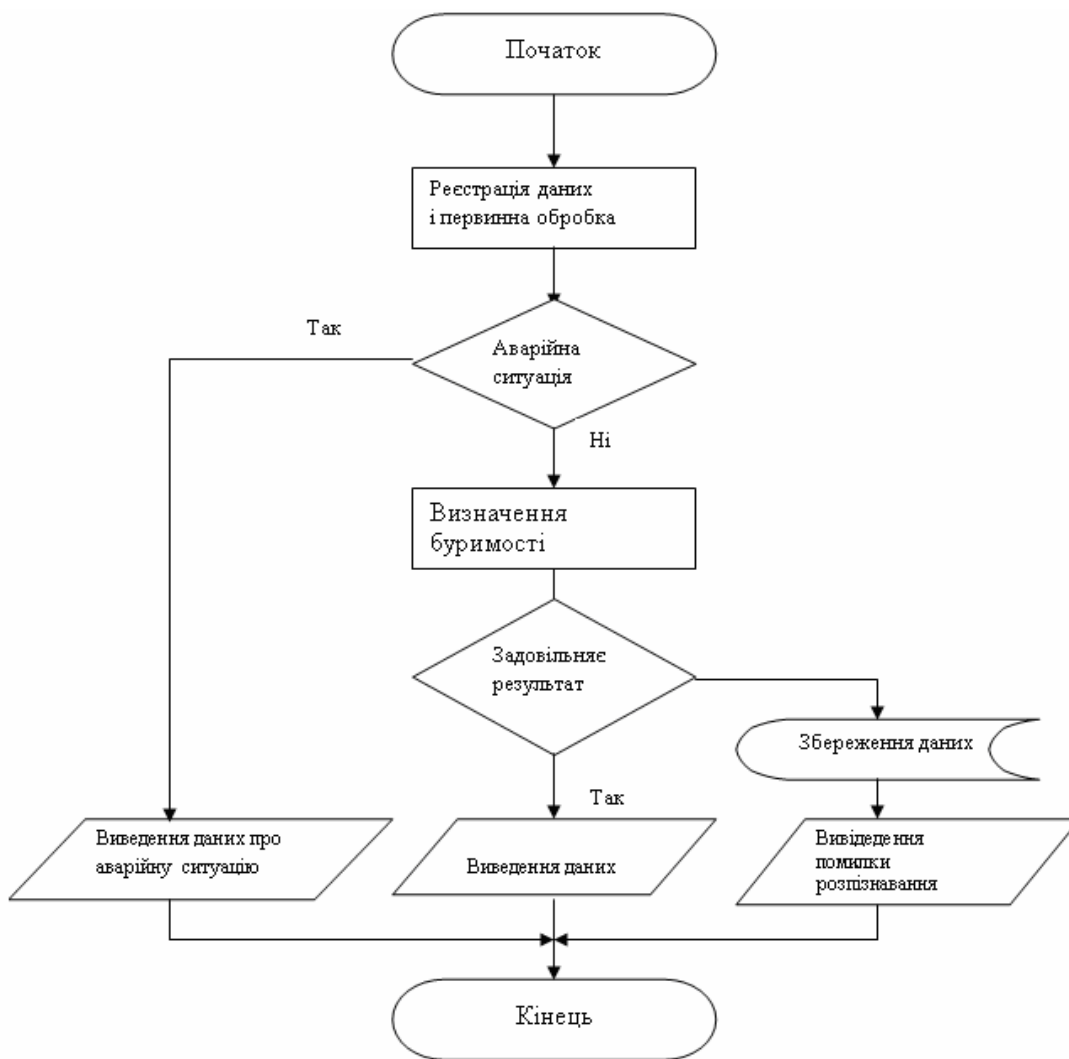


Рисунок 1 – Алгоритм визначення властивостей гірських порід

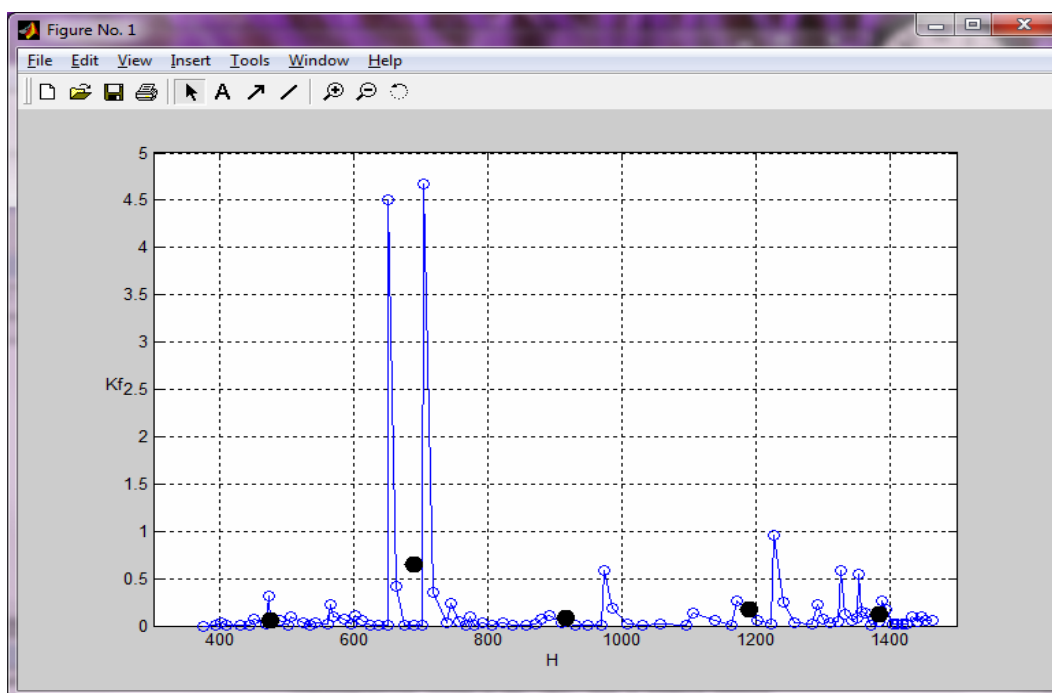


Рисунок 2 – Результати роботи програми нечіткої кластеризації

Висновки

Отже, розроблено метод безконтактного контролю властивостей гірський порід на основі сучасних технічних засобів і методів нечіткої логіки, а також програма для його реалізації. Дана програма може бути рекомендована до впровадження на бурових установках, за допомогою яких здійснюється буріння нафтових і газових свердловин.

Література

1 Семенцов Г.Н. Некоторые аспекты изучения геологического разреза скважин в процессе бурения / Г.Н. Семенцов, М.И. Горбійчук // Известия вузов: Горный журнал. – 1986. – №7. – С.79-83.

2 Горбійчук М. І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов. – Івано-Франківськ: Факел, 2003 – 493 с.

3 Леоненко А. В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech / Леоненко А. В. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

4 Семенцов Г.Н. Цифровой прибор для измерения механической скорости бурения, условного износа и интенсивности изнашивания долота / Г.Н.Семенцов, С.Я.Кукурудз, И.П.Петров, М.И.Горбійчук // Разведка и разработка нефтяных и газовых скважин. – 1972. – №9. – С. 4.

Стаття поступила в редакційну колегію
29.07.09

Рекомендована до друку професором
М. І. Горбійчуком