

УДК 622.1:622.831.3

О.В. ДОЛГІХ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

## ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ РОЗРАХУНКАХ МОЖЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ ПРОВАЛЬ ВІД ДІЇ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

Розглянуто використання теорії нечіткої логіки та нейронних мереж при прогнозуванні виходу провалів на денну поверхню від впливу підземних гірничих робіт. Для підвищення якості прогнозування провалів, при розрахунках та аналізі всіх факторів впливу на стан поверхні, пропонується використання сучасних статистичних методів.

**Проблема і її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Непрогнозований вихід воронки на поверхню викликає суспільний резонанс та інколи значні фінансові витрати. Прикладом є вихід воронки на території шахти ім. Орджонікідзе. Питання, які прямо чи посередньо при цьому формулюються, це:

чому ця подія не була наперед прогнозованою, що могло би мінімізувати наслідки?

чи може бути повторення некерованого провалу на цій шахті або будь якій іншій?

чи можна шляхом оптимізації системи розробки, додатковими вимірами чи застосуванням сучасних приладів отримати достатньо повну інформацію про подібні можливі обвалення, щоб їх не допустити?

**Аналіз досліджень та публікацій.** Отже, чи можна було спрогнозувати цю подію? При використанні застарілих методик, знань та підходів до вирішення задачі спрогнозувати складно, тому що провалля, наприклад, на шахті ім. Орджонікідзе – результат недостатньо вивчених процесів, що відбуваються у надрах. При цьому, можна підкреслити те, що деякі дані впливу на процес невідомі і тому, їх можна вважати недостовірними, пропущеними, відсутніми, а значить і «непрогнозованими».

Очевидно, що проблема в тому, що за всіма існуючими методиками вирішення цієї задачі здійснюється з використанням чіткої математичної логіки. Суть проблеми добре сформулював професор Каліфорнійського університету, автор теорії нечіткої логіки і застосування її в інженерних галузях Лотфи А. Заде (Lot.fі A. Zadeh): «Я вважаю, що зайве прагнення до точності в результаті зводить нанівець теорію керування й теорію систем, тому що воно приводить до того, що дослідження в цій області зосереджуються на тих і тільки тих проблемах, які піддаються точному рішенню. В результаті – багато класів важливих проблем, в яких дані – цілі й обмеження є занадто складними або неточно визначеними для того, щоб допустити точний математичний аналіз, залишалися й залишаються осторонь від тієї причини, що вони не піддаються математичному трактуванню. Для того щоб сказати що-небудь істотне для проблем подібного роду, ми повинні відмовитися від наших вимог точності й допустити результати, які є трохи розмитими або невизначеними».

**Постановка задачі.** Отже перший крок, який необхідно зробити – визнати геологічну інформацію, інформацію про існуючі пустоти, про наші знання геомеханічної моделі родовища, про систему спостережень неповними. Якщо оперувати неповними даними, то потрібна і математична теорія, що оперує такими даними.

**Викладення матеріалу та результати.** Однією з таких теорій є нечітка логіка, яка успішно застосовується для вирішення задач, в яких вихідні дані є ненадійними або слабо формалізованими. В літературних джерелах наводяться сильні та слабкі сторони нечітких систем. До переваг належить:

опис умов і методів вирішення задачі здійснюється мовою, близькою до природної;

згідно до теореми FAT (Fuzzy Approximation Theorem), доведеної Б. Коско у 1993 р., будь-яка математична система може бути апроксимована системою, заснованою на нечіткій логіці, що характеризує універсальність нечітких систем;

ефективність та універсальність пояснюється рядом теорем, що аналогічні теоремам про повноту штучних нейронних мереж.

Як видно з зазначеного, задачі розрахунку та прогнозування зрушень земної поверхні підпадають під клас задач, які можливо вирішувати на основі даної теорії.

До недоліків нечітких експертних систем відносять по-перше те, що вихідний набір правил формулюється експертом-людиною, і може бути суперечливим. При вирішенні задач маркшейдерського забезпечення, в обробку включаються всі дані які є для вирішення задачі. При цьому деякі дані можуть бути неповними. Наприклад, об'єми пустот можуть відрізнятися від тих, які приймаються для розрахунку, через ряд об'єктивних або суб'єктивних факторів, геологічні та геомеханічні данні наближені через їх мінливість у просторі та часі, тощо. При вирішенні таких задач обробка може виконуватися методами що припускають застосування таких неточних, неповних або частково відсутніх даних.

По-друге, вигляд і параметри функцій приналежності, які описують вхідні та вихідні змінні, вибираються суб'єктивно. При вирішенні задач прогнозування зрушень, це не можна вважати недоліком, так як данні по пустотам можливо їх ввести всі.

Обвалення починається із досягнення виробкою стану нестійкого оголення. Цей стан визначається площею і конфігурацією оголення, глибиною розташування, міцністю порід і масиву в цілому, тріщинуватістю порід, обводненням, ступенем порушення підземними роботами та іншими факторами.

За класичними положеннями, провалля утворюється у випадку, коли виконуються дві умови: якщо сума сил, що утримують породи  $F_Y$ , менше суми сил, що їх обвалюють  $F_0$

$$\int_0^H F_Y dH < \int_0^H F_0 dH ;$$

приріст за рахунок розпушення об'єму порід, що зачеплені обваленням, менше об'єму пустоти, в яку відбувається обвалення

$$V_0 \xi - V_0 < V_n .$$

Вирішення цієї задачі можна охарактеризувати, як компроміс між складністю і точністю. Велика кількість наукових робіт присвячена виявленню нових факторів, які впливають на процес обвалення, оцінці впливу кожного фактору, оптимізації схем підрахунків з виявленням ступеню впливу кожного з них на процес обвалення тощо.

За методикою передрозрахунку ймовірності виходу провалля, першу умову автоматично вважають дотриманою, через недостатньо вивчений механізм руйнування порід при утворенні проваль. Вважається, якщо перша умова не виконується, то в розрахунках буде деякий запас точності. Розрахунки, щодо відповідності другій умові, проводять використовуючи параметри  $S_0$ ,  $\alpha$ ,  $H$ ,  $V_n$  і  $\xi$ . Після чого, з врахування запасу, вважають, що провалля утворюється при умові  $d_s > d_{s \min}$ .

Дана методика має ряд недоліків:

При розрахунках використовуються «натурні» коефіцієнти, отримані методом узагальнення. Через складні й мінливі геологічні та геофізичні умови, які різняться на різних ділянках родовища, відхилення коефіцієнтів від істинного значення таких коефіцієнтів може бути значним.

Штучне зменшення факторів, які враховуються. Деякі фактори не враховуються для спрощення розрахунків, а деякі – через їх ненадійність.

Введення додаткових коефіцієнтів для підвищення надійності розрахунків однобічно впливає на результат і може його викривляти.

Даний метод, як і інші, побудовані на чіткій математичній логіці, не враховують, наприклад, впливу старих занедбаних виробок, не нанесених на графічну документацію, або що, об'єм пустоти може відрізнятися від задокументованого тощо.

Результат розрахунків надається у вигляді категоріальної змінної (вийде – не вийде), без оцінки ступеню надійності (не оцінка точності). Умовно розглядаються три пустоти, з яких: перша – точно вийде на поверхню; друга - точно не вийде на поверхню; третя – має середні параметри між першою та другою.

Вирішення останнього недоліку пропонується введенням часового коефіцієнту, за допомогою якого прогнозувати час виходу провалля, у виді «пустота 1 вийде першою, пустота 2 вийде другою тощо», але, що важливо, тільки після вирішення першої поставленої задачі «вийде – не вийде».

Використовуючи дані про параметри проваль станом на 1982 рік, було виконано розрахунок для проваль над пустотами Першої рудної зони рудника «Балей» [8].

Обчислення були виконані також за даними по 16 фактично утвореними провалами, які вийшли на поверхню в період з 1963 по 1982 рік.

Відомо, що для розрахунку пустоти використовуються такі вихідні дані, як: дані про блок, координатні осі, горизонт, об'єм пустот, середня глибина, середня вертикальна потужність, кут падіння покладу, коефіцієнт розпушення тощо. Також використовуються: діаметри провалля (розрахункові і мінімально можливі) та визначені класичним методом; висновок про можливість виходу провалля, у вигляді «створюється – не створюється».

Як видно з аналізу даних, параметрів, що характеризують результат – «вийде» чи «не вийде» на поверхню провалля, багато. Деякі з них не враховуються при підрахунках, наприклад, дата відпрацювання покладу та дата виходу провалля, що вже вийшли на поверхню. Також в розрахунках не враховується положення пустоти відповідно до координатних осей, хоча це положення спричинене геологічними і геомеханічними властивостями на даній ділянці родовища. Цим можна, пояснити той факт, що деякі провалля, з ідентичними параметрами, але різним розташуванням, створюються із значним розбігом в часі.

Для того, щоб мінімізувати вищезазначені недоліки у розрахунках виходу провал на поверхню, пропонується розглядати кожен пустоту не окремо від інших, а розглядати багатофакторну модель пустот на тій чи іншій ділянці (в даному випадку всі пустоти, через їх близьке розташування одна до одної).

При даному підході можливі три напрямки вирішення.

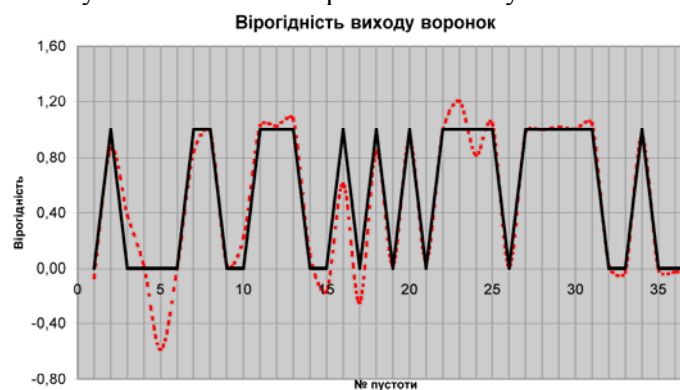
Перший напрямок ґрунтується на зменшенні числа факторів шляхом застосування методів зниження розмірності багатомірного простору (метод головних компонент) та на виявленні невеликої кількості факторів, що істотно впливають на кінцевий результат. Далі вирішується задача шляхом оптимізації.

Другий напрямок ґрунтується на аналізі тільки основних факторів, які враховуються при прийнятій схемі попереднього розрахунку можливості виходу провалля, а результат «вийде» чи «не вийде» провалля на поверхню приймається за попередній.

Третій напрямок ґрунтується на аналізі всіх факторів.

Такий спосіб підходить не завжди, тому що кількість часу на опрацювання даних збільшується в геометричній прогресії. І, як правило, більш надійний результат можна отримати після зменшення числа факторів та створення більш детальної моделі процесу, ніж шляхом поверхового моделювання, але з врахуванням всіх факторів.

В розглянутих трьох напрямках є одна загальна риса – всі пустоти розглядаються в рамках однієї моделі, що забезпечує можливість контролю шляхом узагальнення.



**Рис. 1.** До аналізу стану пустот

- — — — — Моделювання можливості виходу воронки виконане за допомогою нейронних мереж
- — — — — Моделювання можливості виходу воронки виконане за допомогою класичних методів

**Висновки та напрям подальших досліджень.** Аналіз дозволяє стверджувати, що створивши спочатку загальну модель вірогідного виходу «воронки» методом нейронних мереж, потім можна оцінити, наскільки параметри тієї чи іншої пустоти відхиляються від загальної моделі «воронкоутворення».

Наприклад, з графіка, наведеного на рис. 1, очевидно, що можливість виходу «воронки» над пустотами (13, 23, 31) першими беззаперечно; «воронки» для деяких пустот (5, 15, 17) –

маловірогідні, є надійний запас; пустоти під номерами 18, 24 і особливо №16 потребують додаткових досліджень.

### Список літератури

1. **Cordon O., Herrera F.** A General study on genetic fuzzy systems // Genetic Algorithms in engineering and computer science, 1995. – P. 33-57.
2. **Kosko B.** Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers, vol. 43, No. 11, November 1994. – P. 1329-1333.
3. **Заде Л.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
4. Исследование и разработка способов обеспечения безопасного ведения работ на Тасеевском карьере при его подземной подработке (отчет) тема №7-305-80, КГРИ, Сазонов В.А., Кривой Рог, 1982, 79 с.
5. **Калинина В. Н., Соловьев В. И.** Введение в многомерный статистический анализ: Учебное пособие / ГУУ. – М., 2003. – 66 с.
6. **Круглов В.В., Дли М.И.** Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. – М.: Физматлит, 2002.
7. **Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.** Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М., 2004.
8. **Сазонов В.А.** «Исследование вопросов подземной подработки карьеров и выбор способов наблюдений за устойчивостью их поверхности» Автореферат кандидатской диссертации. – КГРИ. – Кривой Рог, 1969.
9. **Сероштан В.С.** Зависимость времени стояния кровли от площади ее обнажения. – «Горный журнал», 1974, №12. С. 42-44.

Рукопис подано до редакції 11.03.14

УДК 622.504

В.Ю. ТИЩУК, д-р техн. наук, Криворізький національний університет

## ЗАКРІПЛЕННЯ ПИЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ З ВИКОРИСТАННЯМ БІОТЕХНОЛОГІЙ

Наведено результати аналітичних і експериментальних досліджень по використанню біотехнологій для закріплення пильних поверхонь відвалів і шламосховищ на гірничих підприємствах. Доведено доцільність використання для закріплення пильних поверхонь залишків активного мулу, що утворюється при очищенні стічних вод та відходів молокопереробних підприємств. Результати фізико-хімічних досліджень свідчать про високу ефективність цих засобів біотехнології для закріплення пильних поверхонь на гірничих підприємствах.

**Ключові слова:** пил, відвали, шламосховища, закріпління поверхонь, біотехнологія.

**Проблеми та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** На гірничих підприємствах поверхні відвалів і шламосховищ є джерелом інтенсивного пиловиділення в атмосферу. Установлено, що інтенсивність пиловиділення з поверхонь відвалів досягає  $9,8 \text{ мг/с} \cdot \text{м}^2$  [1], а з поверхні шламосховищ -  $1800 \text{ мг/с} \cdot \text{м}^2$  [2]. Це веде до забруднення атмосферного повітря і в цілому навколишнього середовища. Існуючі технології закріплення пильних поверхонь не можуть на тривалий термін забезпечити ефективне попередження пиловиділення з відвалів і шламосховищ особливо після інтенсивних опадів у вигляді дощу, що приводить до руйнування захисного екрану на поверхнях. Тому підвищення ефективності захисту навколишнього середовища від пилу з відвалів і шламосховищ на основі розробки науково обґрунтованих ефективних засобів пілозв'язування є важливою науковою задачею.

Вирішення цієї задачі пов'язано з виконанням державних науково-технічних програм з пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки в частині збереження навколишнього природного середовища.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Відомий спосіб закріплення пильних поверхонь з використанням латексів [1]. Проте, це основний продукт для одержання різних синтетичних клеїв та матеріалів широкого вжитку і він майже не випускається на Україні.

Широкі дослідження по закріпленню пильних поверхонь на гірничих підприємствах проведено в ДВНЗ «КНУ». Основні результати досліджень викладено в роботах [3-6], де описано технологію і технологічні засоби по закріпленню пильних поверхонь в основному розчином