

О.В. ДОЛГІХ, канд. техн. наук, доц., Т.О. ПОДОЙНІЦИНА, ст. викладач  
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### **ПРОБЛЕМИ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ МАРКШЕЙДЕРСЬКОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА ЇЇ ПЕРЕДБАЧЕННЯ**

Розглянуто питання використання теорії нейронних мереж при прогнозуванні величин деформацій, виходу проваль на денну поверхню від впливу підземних гірничих робіт. Для підвищення якості прогнозування на основі використання сучасних статистичних методів важливою задачею є якісна інтерпретація маркшейдерської інформації та її передбачення.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Останнім часом з'являються нові легкі та надійні маркшейдерсько-геодезичні прилади. Зміни матеріальної бази

для виконання маркшейдерських робіт дозволяють зменшити час на польові та камеральні роботи, підвищити ступінь автоматизації та точність вимірювального і обчислювального процесів.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Камеральна обробка маркшейдерських даних, завдяки програмним засобам Digitals, Credo DAT та іншим, що працюють на основі AutoCAD, значно спрощується. Маркшейдеру у більшості випадків непотрібно вибирати метод зрівнювання, довірчі інтервали й інші конкретні налаштування, які, звісно, є в «меню налаштувань». Для опрацювання більшості вимірів підходить їх стандартний набір, або параметри, які налаштовуються одноразово.

**Постановка задачі.** Але на протязі десятих років залишається актуальною задача інтерпретації даних. На теперішній час, навіть при укомплектуванні маркшейдерських служб гірничих підприємств, які виконують роботи по спостереженню за зсувами, приладами на порядок точнішими за ті, які вони мають, то в обробці вимірів істотних змін може не бути. Змінитися може те, що у величинах, наприклад, осадок, з'явиться ще одна цифра після коми. В одному випадку, це суттєво не може змінити результат прогнозування, в іншому – інколи десята частина міліметра, особливо коли це стосується дослідження великого масиву, може бути передвісником істотних процесів.

**Викладення матеріалу та результати.** Але на протязі десятих років залишається актуальною задача інтерпретації даних. На теперішній час, навіть при укомплектуванні маркшейдерських служб гірничих підприємств, які виконують роботи по спостереженню за зсувами, приладами на порядок точнішими за ті, які вони мають, то в обробці вимірів істотних змін може не бути. Змінитися може те, що у величинах, наприклад, осадок, з'явиться ще одна цифра після коми. В одному випадку, це суттєво не може змінити результат прогнозування, в іншому – інколи десята частина міліметра, особливо коли це стосується дослідження великого масиву, може бути передвісником істотних процесів.

Результатом досліджень є встановлення необхідності паралельно із класичними методами застосовувати інші, складніші та дорожчі, але найбільш логічні. Для цього важливим є створення сучасної системи інтерпретації даних. На рис. 1 наведено осадки реперів профілю за 11 років.



Рис. 1. Осадки реперів

З аналізу наведеного графіка осадок реперів можна зробити висновок про те, що у 2008 більш логічним було б очікувати значення осадки на рівні +1 мм, у 2009 – приблизно +4 мм, у 2010 – +4,5 мм. Такий логічний висновок не закріплений інструкцією, а у звітах за 2009-2012 роки слід було б очікувати такі величини деформацій.

Відомо, що спочатку необхідно визначати закономірність процесу деформацій, а потім – оцінювати величини деформацій. Отже, задача розпадається на дві частини: перша – визначення закономірності (сезонні чи інші види деформацій), а друга – оцінювання величин деформацій за відхиленнями від загальної закономірності. В задачі, що розглядається, найважливішим є передбачення інформації, яке більш успішно може вирішуватися за допомогою нейронних мереж і нечітких систем, порівняно з класичними методами, що використовуються (рис. 2).

Величини деформацій більші за 15 мм негативно впливають на споруди, спричиняють тріщини і інші негативні явища, але не впливають на безпеку і цілісність споруд.

Розглядаючи питання вибору ефективного методу прогнозування деформацій, необхідно проаналізувати пропонування та загальноприйнятий методи та визначити, який з них може дати

більше даних для передбачення деформаційних процесів. Можна прийняти на рівні гіпотези,



Рис. 2. Фактичні осадки реперів

що якщо будь-яка критична кількість реперів зазнає деформацій, що буде у протиріччі з загально визначеними положеннями, то можливо в надрах проходять процеси що можуть спровокувати, наприклад, стрімке обвалення масиву, так як це трапилось на шахті ім. Орджонікідзе, або інші непередбачувані процеси.

Для наведеного прикладу у 2009, 2010, 2011 рр. значення осадок – +1 мм, +4 мм, +4,5 мм відповідно, не перевищують допустимих значень і тому, при прогнозуванні їх не можна вважати передвісниками глобальних катастрофічних подій. У висновках за результатами спостережень небезпечних об'єктів необхідно розраховувати також вірогідність катастрофічних подій, таких як стрімке обвалення тощо.

З іншого боку, визначення закономірностей такого роду не є тривіальною задачею з явним рішенням. Цьому багато причин.

*По-перше*, складні процеси у надрах, іноді є причиною змінення загальної закономірності зсувного процесу, наприклад, зафіксовані випадки, коли закономірність осідання репера за 40 років, навіть при достатньо грубому візуальному оцінюванні, змінювалася 2, 3, а іноді і 4 рази, та при цьому ніяких катастрофічних явищ не траплялося;

*По-друге*, періодичність спостережень за реперами низька – від одного разу на рік до дванадцяти, що буває рідко. Розглянувши припущення, що якщо деформації між серіями спостережень мають лінійну залежність, то їх можна згустити, використавши лінійну інтерполяцію і тим самим збільшити передісторію. Але це не завжди дає вірний прогноз і може спотворити результати. Інший шлях вирішення це: підвищення кількості спостережень; застосуванням оптико-волоконних та інших автоматизованих систем, за допомогою яких можна отримати результати хоч на кожен день. Як зазначалося вище, якщо ці системи і були б впроваджені на таких об'єктах, то це не принесло б очікуваного ефекту через недосконалу системи інтерпретації цих даних.

*По-третє*, розташування реперів не завжди є оптимальним для прогнозування складних процесів у надрах, а закладання нових не дасть потрібного ефекту ще декілька років, поки не набереться достатня кількість статистичних спостережень.

Окрім зазначених причин, є труднощі наукового і технічного характеру, такі як:

визначення способу та детальності згладжування деформаційних графіків;

обчислення мінімальної та необхідної кількості попередніх спостережень і оцінка можливості прогнозування у випадку, коли даних недостатньо;

якщо моделювання виконується за допомогою нейронних мереж, то необхідно вирішити проблему їх перенавчання.

Інакше кажучи, необхідно, щоб нейронна мережа мала здатність узагальнювати результати для нових спостережень. У дійсності, мережа навчається мінімізувати помилку у навчальній множині, і під час відсутності ідеальної й нескінченно великої навчальної множини це зовсім не те ж саме, що мінімізувати «справжню» помилку на поверхні помилок у заздалегідь невідомій моделі явища (Bishop, 1995).

Якщо мережа перенавчена, то створена модель вже не передбачує значення наступного циклу, а просто їх повторює, а це означає що втрачається сама головна перевага нейронних мереж – незалежність від будь яких моделей.

«Перенавчити» нейронну мережу та розглядаючи величини деформацій за період з 1997 по 2002 рік (рис. 3,4) і будуючи прогноз на 6 наступних років, отримаємо другі частини графіків ідентичними і дещо зміщеними. Як видно за величинами деформацій, які дійсно відбулися (пунктирна лінія), точність такого прогнозу низька.

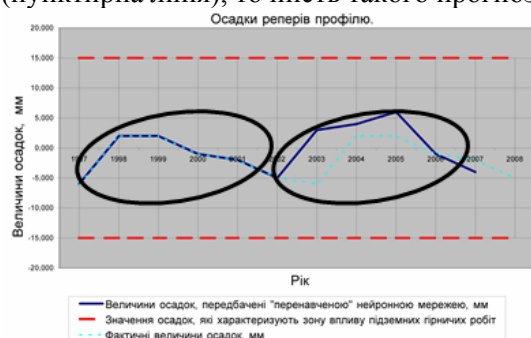


Рис. 3. Прогнозування осадок реперів (приклад 1)

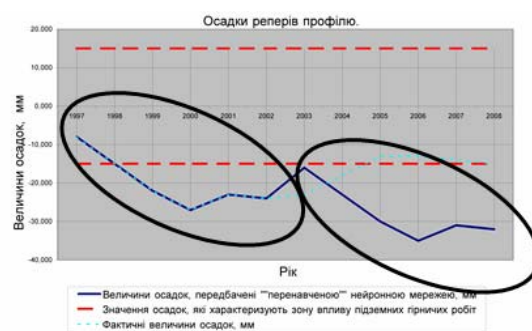


Рис. 4. Прогнозування осадок реперів (приклад 2)

Отже при прогнозуванні слід уникати занадто високого ступеня «підгонки» результату. В прикладах (див. рис. 3,4) є ще один недолік прогнозування такого типу деформацій – недостатня передісторія. Звісно, що маючи 6 циклів спостережень, неможливо побудувати прогнозовані значення шести наступних.

Практика показує, що при визначенні закономірностей зсувних процесів для одного і того самого об'єкту, репери, навіть однієї профільної лінії, мають різні закономірності. «Поведінка» деяких реперів добре характеризується простими лінійними закономірностями (рис. 5). Зрозуміло, що за принципами науковості, при інших однакових умовах, необхідно брати найпростіше. Тому у даному випадку слід або використати просту лінійну залежність, або оптимально настроїти нейронну мережу (вибрати мінімальну складність), щоб не «засмічувати» зайвими розрахунками.

Є приклади неявної закономірності (рис. 6). В таких випадках логічним буде не підбирати способи апроксимації «вручну», а одразу створювати нейронні мережі.

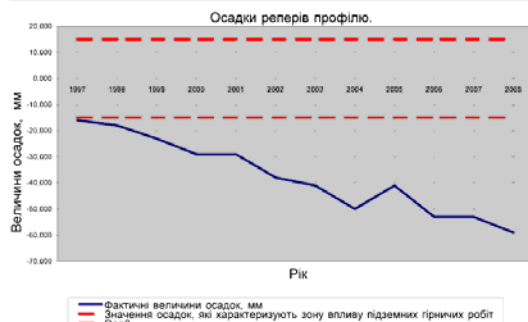


Рис. 5. Використання лінійної закономірності

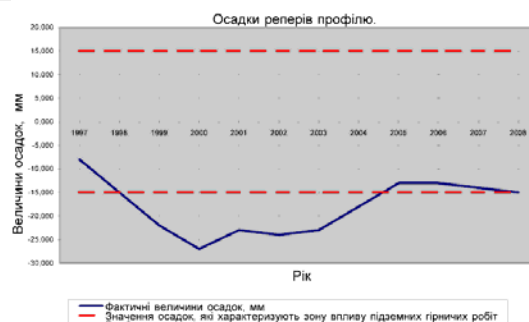


Рис. 6. Використання неявної закономірності

Важливою характеристикою будь-якого прогнозу є його довго строковість. Будь-який прогноз на досить тривалий час (в даному випадку на 6 років), створюється таким чином, що спочатку створюється прогноз на один рік, потім ці результати використовуються як вихідні дані при прогнозуванні на наступний рік. Звісно, що таким чином, похибка прогнозу збільшується за арифметичною залежністю.

**Висновки та напрям подальших досліджень.** Із зазначеного можна зробити наступні висновки:

без науково обґрунтованих параметрів побудови нейронних мереж для маркшейдерських даних, неминуче з'являться великі помилки через перенавчання або недостатнє навчання мереж;

для маркшейдерських даних, які є дуже специфічними, без наукового обґрунтування оптимального періоду, на який можна зробити прогноз, неможливе вирішення конкретних інженерно-технічних задач;

для вирішення кожного класу задач маркшейдерії, необхідно знати оптимальний та мінімально допустимий об'єм передісторії, так як кожна із задач, що вирішується, за структурою даних несхожа на іншу, це викликає необхідність мати надійні критерії, хоча б на кожен клас задач, що вирішується;

необхідно визначити, наскільки параметри, критерії тощо, що розроблені, наприклад, для економічної теорії, придатні до застосування в маркшейдерії.

#### Список літератури

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
2. Калинина В. Н., Соловьев В. И. Введение в многомерный статистический анализ: Учебное пособие / ГУУ. – М., 2003. – 66 с.
3. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. – М.: Физматлит, 2002.
4. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М., 2004.

Рукопис подано до редакції 12.03.14