

дят десорбционные процессы, увеличивается. При этом интенсивность газовой-деления сначала возрастает, а затем постепенно падает.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская угольная энциклопедия. – М.-СПБ.: Издательство ВСЕГЕИ, 2007. – 570 с.
2. Круковская, В.В. Изучение параметров процесса выброса угля и газа с использованием компьютерного моделирования // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Матер. XVIII Межд. науч. школы. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2008. – С. 132-134
3. Баклашов, И.В. Механика подземных сооружений и конструкций крепей / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия – М., Недра, 1984.
4. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. – М.: Мир, 1969. – Т. 1. –648 с.
5. Круковская, В.В. Решение объемной задачи нестационарной фильтрации метана из угольного пласта в выработку методом конечных элементов. // Геотехническая механика // Сб. научн. тр./НАН Украины ИГТМ. – Днепрпетровск, 2007. - № 69. – С. 240-248.

УДК 622.411.33

Доц. В.П. Денисенко,  
доц. Р.В. Верба,  
(ДонДТУ)

### **НЕЙРОМЕРЕЖНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТАНОВОСТІ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО НАБОРУ ВИХІДНИХ ДАНИХ**

Представлена методика адаптации нейросетевого прогнозирования метанообильности выработок угольных шахт в условиях ограниченного набора исходных данных. Разработан и реализован алгоритм адаптации нейросетевого текущего прогноза метанообильности.

### **NEYRO-NETWORK PROGNOS OF THE METHAN MINING MAKING IN THE CONDITIONS OF THE LIMITED OUTPUT DATA BY NEYROMEREG**

Presented method of adaptation of neyromereg prognos of the methan making of coal mines in the conditions of the limited data set. It is developed and the algorithm of adaptation of neyromereg current prognos of methan is realized.

Високий рівень виділення метану у гірничі виробки у сучасних умовах ведення гірничих робіт – є одним із ключових факторів, що визначають складність робіт з виїмки вугілля і його високу собівартість. Важливою складовою частиною вирішення проблеми боротьби з метаном у вугільних шахтах є надійний і якісний прогноз метановості гірничих виробок виїмкових дільниць з високонавантаженими лавами. Відсутність методик і сучасних інструментальних засобів для адекватного поточного прогнозування процесу метановиділення на діючий виїмальній дільниці та прийняття оперативних заходів запобігання аварійних газових ситуацій визначає актуальність даної роботи.

Розробка алгоритму адаптації нейромережного поточного прогнозування метановості гірничих виробок в умовах обмеженого набору вихідних даних для підвищення якості поточного прогнозу мета даної роботи.

Основними джерелами виділення метану на видобувній дільниці є робочий пласт та вироблений простір. Метановиділення із цих джерел змінюється в часі, тому що на нього впливають фактори складної фізичної системи, що включає ці

джерела. Якщо до процесу метановиділення в зазначеній фізичній системі додати технологічний процес видобутку вугілля, то будемо мати систему погано організовану.

Характер процесу метановиділення у виробки виїмкової дільниці досліджують по зміні рівня вмісту метану у вихідному вентиляційному струмені. Велика кількість факторів впливає на цей рівень [1, 2]. По-перше, фактори фізичної природи: кількість, розташування й потужність суміжних пластів-супутників і газоносних порід, потужність і газоносність робочого пласту. По-друге, фактори технологічного процесу [3, 4]: циклічність технологічних операцій при видобутку вугілля; нерівномірність роботи виїмкової машини; коливання витрат повітря у вентиляційній мережі виїмкової дільниці, які можуть викликати перехідні аеродинамічні явища, що супроводжуються зміною газовиділення з виробленого простору. Все це створює значну нерівномірність метановиділення на дільниці.

Система, у якій досліджується процес метановиділення, є дифузною, а процеси, які протікають у системі, якщо їх розглядати окремо, добре відомі з точки зору фізики процесу, однак розмежувати їх складно [3] користуючись традиційними методами. Побудувати кількісну теорію, що описує процес газовиділення в такій системі при зміні гірничо-геологічних, геомеханічних і технологічних умов видобутку вугілля практично неможливо. Велика кількість і складний взаємозв'язок факторів, що впливають на рівень вмісту метану у вихідному вентиляційному струмені виїмкової дільниці, відсутність можливості безпосередньо спостерігати у часі за надходженням метану з окремих джерел у конкретних умовах розробки дають підставу розглядати цей процес як випадковий [1, 4, 5].

Вивченню процесу метановиділення на виїмковій дільниці як складного динамічного процесу присвячена велика кількість робіт вітчизняних та закордонних вчених та фахівців [1-5], особливу увагу приділено питанню прогнозування метановиділення класичними математичними методами та з використанням сучасних інструментальних засобів [6,7,9]. У роботі [7] запропоновано використання методу дослідження часових рядів, основою якого є показник Херста. Це дозволяє оцінити наявність трендової складової, визначити коли процес являє собою випадкову незалежну систему, а коли його рух є обумовленим. Отже у відповідності до цього методу найбільш характерними є часові ряди, для яких показник Херста відмінний від значення 0,5. Тому цей показник може використовуватися для попереднього аналізу наявних часових рядів вихідних даних, які відповідні процесам, що супроводжують метановиділення.

Під час проведення аналізу існуючих методів прогнозування метановості, які пропонуються для використання у вугільних шахтах та наявних вихідних даних для прогнозу, було встановлено:

- відсутній алгоритм або не відомі принципи рішення завдань для використання існуючих методів прогнозування, але накопичено достатню кількість прикладів;

- процес, що досліджується характеризується вхідною інформацією, дані якої неповні або частково суперечливі;

– немає можливості встановити аналітичну залежність між супутніми процесами, які провокують процес метановиділення.

Для вирішення задачі поточного прогнозування метановості було використано нейромережне моделювання [6, 8]. Практика застосування нейромереж для моделювання такого складного динамічного процесу, як метановиділення, котрий залежить від великої кількості випадкових факторів та по яких відсутня можливість збору повних вихідних даних, показала їх працездатність.

Для поточного прогнозування однорідних часових рядів було обрано структуру базової початкової нейромережі (рис. 1).

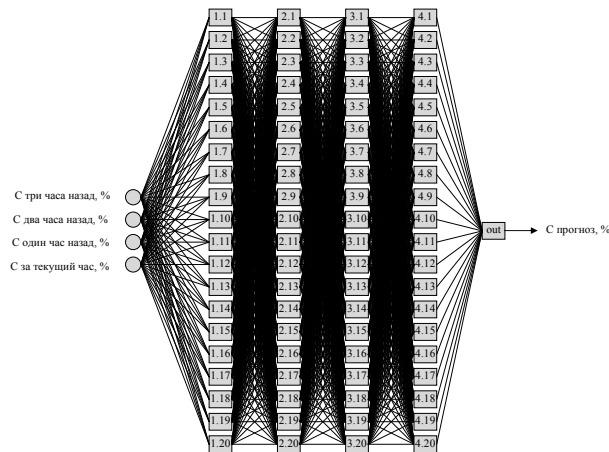


Рис. 1 – Структура базової початкової нейромережі.

Для отримання вагових коефіцієнтів для кожного з синапсів мережі використано алгоритм процедури зворотного поширення похибки. Згідно з цим методом, цільовою функцією, що мінімізується є величина [9, 10]:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j,p} (y_{j,p}^{(N)} - d_{j,p})^2, \quad (1)$$

де  $y_{j,p}^{(N)}$  – реальний вихідний стан нейрона  $j$  вихідного шару  $N$  нейронної мережі при подачі на її входи  $p$ -го образу;

$d_{jp}$  – ідеальний (бажаний) вихідний стан цього нейрона.

Підсумування ведеться по всіх нейронах вихідного шару й по всіх образах, що оброблюються мережею.

Мінімізація ведеться методом градієнтного спуску, що означає підстроювання вагових коефіцієнтів у такий спосіб:

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{dy_j}{ds_j} \cdot \frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}}, \quad (2)$$

де  $w_{ij}$  – ваговий коефіцієнт зв'язку, що з'єднує  $i$ -ий нейрон шару  $n-1$  з  $j$ -им нейроном шару  $n$ ;

$\eta$  – коефіцієнт швидкості навчання,  $0 < \eta < 1$ ;

$y_j$  – вихід нейрона  $j$ ;  
 $s_j$  – зважена сума його вхідних сигналів, тобто аргумент активаційної функції.

Рекурсивна формула для розрахунків величин  $\delta_j^{(n)}$  шару  $n$  з величин  $\delta_k^{(n+1)}$  наступного шару  $n+1$ :

$$\delta_j^{(n)} = \left[ \sum_k \delta_k^{(n+1)} \cdot w_{jk}^{(n+1)} \right] \cdot \frac{dy_j}{ds_j}, \quad (3)$$

Для вихідного шару:

$$\delta_l^{(N)} = (y_l^{(N)} - d_l) \cdot \frac{dy_l}{ds_l}, \quad (4)$$

Використання нейромережі з високим показником точності прогнозування не надає належного результату при прогнозуванні такого складного динамічного процесу, як процес метановиділення у гірничі виробки. Для підвищення якості методики застосування нейромереж при прогнозуванні метановості гірничих виробок в роботі розроблено адаптивний алгоритм (рис. 2), який дозволяє значно наблизитись до фактичних показників метановиділення, завдяки використанню в ньому двох нейромереж одночасно.

У якості базової нейромережі використовується нейромережа, що надає прогнозні значення метановості, виключно на основі даних аерогазового контролю рудникового повітря (вміст метану у атмосфері виробки). Додатково розроблена нейромережа, що виконує роль окремого експерта, на вхід якої подаються дані акустичної емісії, яка відображує геомеханічний стан вуглепородного масиву, з якого виділяється метан.

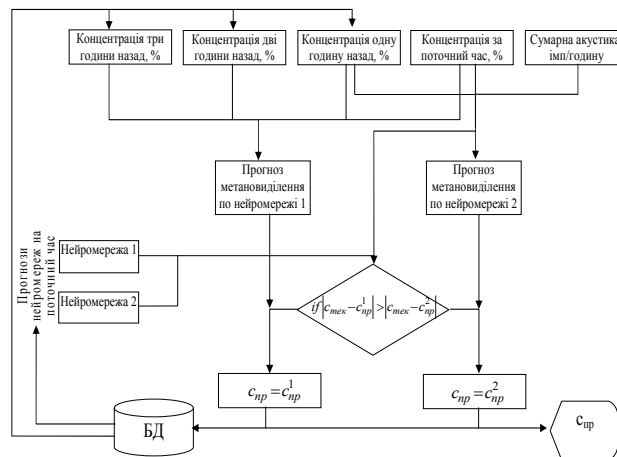


Рис. 2 – Алгоритм вибору кращого варіанту прогнозу метановості.

Аналіз результатів тестування двох нейромереж, показав, що кожна з них із змінним успіхом надає прогнозні значення краще за іншу. Оскільки кожна з нейромереж у певний період має різний рівень точності прогнозу, необхідно обирати за прогнозне значення метановості ту величину, яка краще співвідноситься з фактичним значенням. В цьому полягає суть алгоритму відбору най-

більш вірогідних прогнозних значень метановиділення у гірничі виробки виїмкових дільниць за рахунок експертів комітету нейромереж.

Прогнозування метановості гірничих виробок повинно створювати безпечні умови праці, тому оцінка якості прогнозування метановості нейромережами з використанням алгоритму відбору найбільш вірогідних прогнозних значень та без нього, повинна проводитися по двом показникам: середнє (СЗП) та максимальнє (МЗП) значення помилки прогнозу. Результати тестування роботи алгоритму відбору найбільш вірогідних прогнозних значень показали, що прогноз здійснюється з різною величиною помилки (табл. 1) у різні моменти часу.

Таблиця 1 – Оцінка якості прогнозування метановості нейромережами

Показник	без використання алгоритму відбору найбільш вірогідних прогнозних значень		з використанням алгоритму відбору найбільш вірогідних прогнозних значень
	без акустики	з акустикою	
СЗП	0,028	0,041	0,033
МЗП	0,192	0,161	0,118

Аналіз тестування показав, що варіант структури нейромережі без застосування акустики має найнижче середнє значення помилки, але при цьому має найбільше максимальнє значення. Для усунення цього недоліку запропонований алгоритм було доповнено (рис. 3).

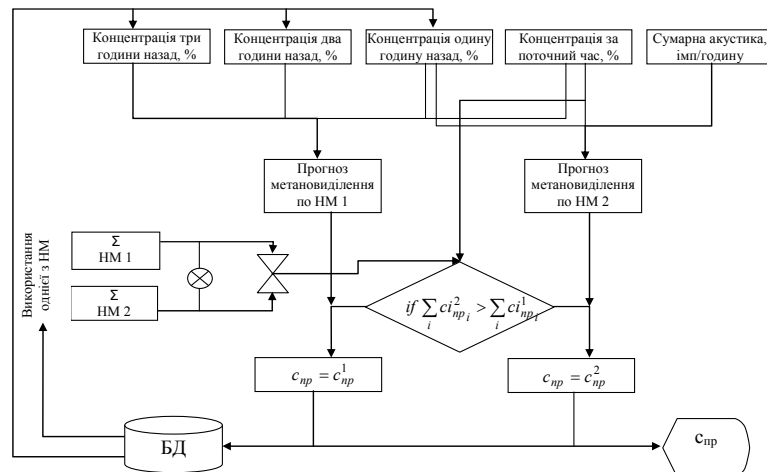


Рис. 3 – Доповнений алгоритм вибору кращого варіанту прогнозу.

Доповнений алгоритм аналізує роботу експертів комітету нейромереж. Кожному з експертів присвоюється ваговий коефіцієнт, сума коефіцієнтів дорівнює одиниці. Корегування коефіцієнтів відбувається одразу після введення поточних значень всіх вихідних параметрів. Для цього порівнюється прогноз вмісту метану у атмосфері виробки одержаний по кожному експерту з фактичними даними. Той експерт, по якому одержано найбільш точне значення, отримує один бал, а інший – нуль. Усі бали складаються та нормуються до загального числа порівнянь. Одержані таким чином нові прогнозні значення вмісту метану

у атмосфері виробки по кожному з експертів перемножуються з ваговими коефіцієнтами та складаються разом. У результаті такого відбору отримане прогнозне значення має меншу похибку як середню так і максимальну.

Аналіз результатів використання доповненого алгоритму у порівнянні з результатами використання базових нейромереж показує, що розроблений алгоритм має більшу збіжність прогнозу з фактичними значеннями (рис. 4).

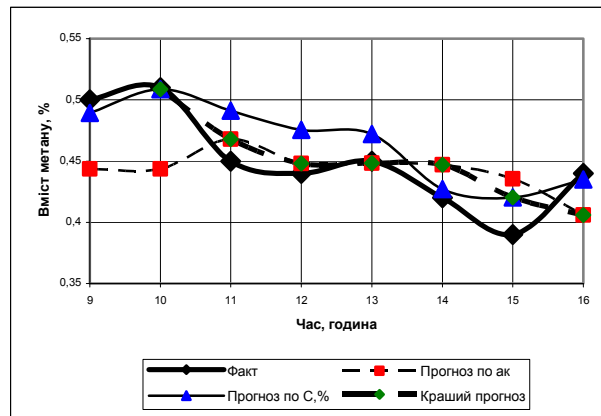


Рис. 4 – Порівняння результатів використання доповненого алгоритму.

#### Висновки:

– аналіз результатів тестування базових нейромереж на окремих вибірках з використанням двох експертів показав, що кожна з них з перемінним успіхом надає прогнозні значення краще за іншу, а доповнений алгоритм дає можливість вибору кращого варіанту прогнозу;

– розроблено та реалізовано у вигляді програмного модулю алгоритм адаптації нейромережного поточного прогнозування метановості виробок в умовах обмеженого набору вихідних даних.

#### ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ушаков К.З. Газовая динамика шахт / К.З. Ушаков – М.: Недра, 1984. – 248 с.
2. Абрамов Ф.А. Моделирование динамических процессов рудничной аэрологии / Ф.А. Абрамов, Л.П. Фельдман, В.А. Святный – К.: Наукова думка, 1981. – 284 с.
3. Касимов О.И. Оценка параметров переходных газодинамических процессов на выемочных участках шахт / О.И. Касимов // Борьба с газом и пылью в угольных шахтах. – К: Техника, 1965. – вып. 2. – С.3-14.
4. Волков А.А. Стационарность случайных процессов, определяющих проветривание добычного участка./ А.А. Волков, В.П. Чуберкис // Сб. Технология и экономика угледобычи – М.: Недра, 1965. – № 7. – С.79-82.
5. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов. / Дж. Бендат, А. Пирсол – М.: Мир, 1974. – 463 с.
6. Денисенко В.П. Выбор структуры нейросети для прогнозирования метановыделения в горных выработках угольных шахт / В.П. Денисенко, Р.В. Верба // Науковий вісник НГУ.– Днепропетровск, НГУ, 2008. – №10. – С. 37-40.
7. Бубунец Ю.В. Потенциальная прогнозируемость метанообильности выработок угольных шахт/ Ю.В. Бубунец //Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск, ДонГТУ, 2009. – Вып. 28. – С. 134-143.
8. Абакумова Е.В. Прогнозирование метанообильности выработанного пространства в условиях неравномерности обрушений массива кровли / Е.В. Абакумова, В.П. Денисенко // Науковий вісник НГУ. – Днепропетровск, НГУ, 2007. – №8. – С. 13-16.
9. Подлипенская Л.Е. Компьютерное моделирование динамических рядов метановыделения выемочного участка / Л.Е. Подлипенская //Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск, ДонГТУ, 2008. – Вып. 27. – С. 153-160.
10. Царегородцев В.Г. 5. Предобработка обучающей выборки, выборочная константа Липшица и свойства обученных нейронных сетей / В.Г. Царегородцев // Материалы X Всеросс. семинара «Нейроинформатика и ее приложения». – Красноярск, КГТУ, 2002. – С.146 – 150.

УДК 622.831.325.3:621.643:681.518.54

Мл. научн. сотр. Л.А. Новиков  
(ИГТМ НАН Украины),  
д-р техн. наук Б.В. Бокий  
(ГАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

## **К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ И АВТОМАТИЗАЦИИ ШАХТНЫХ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Розглянуті існуючі системи контролю та автоматизації шахтної газопровідної мережі, а також засоби контролю газодинамічних параметрів метано-повітряної суміші у дільничному дегазаційному трубопроводі.

## **TO THE QUESTION OF CONTROL AND AUTOMATION OF MINE DEGASIFICATION SYSTEMS**

The existing system of control and automation of mine degassing network, and controls the gas-dynamic parameters of methane-air mixture in the precinct line degassing.

Повышение эффективности работы шахтных дегазационных систем (ДС) связано с решением задач совершенствования технологий и технических средств дегазации, а также средств контроля и управления режимами работы основных элементов ДС. В связи с этим большое значение для обеспечения безопасных условий труда и предупреждения аварийных ситуаций играет использование автоматических систем контроля параметров дегазационных установок. Данная система включает в себя аппаратуру отбора, передачи и приема информации, переносные приборы и датчики для контроля газодинамических параметров метано-воздушной смеси (МВС), регуляторы величины давления, водопылеотделители, а также средства метрологического обеспечения [1, 2].

Контроль и автоматизация дегазационных систем угольных шахт подразумевает решение следующих задач [2]:

- автоматизация вакуум-насосов;
- передача информации об основных параметрах работы используемого оборудования;
- контроль концентрации метана в здании вакуум-насосной станции и в поступающей МВС;
- контроль газодинамических параметров МВС в скважинах, участковых и нагнетательном дегазационных трубопроводах с использованием стационарных переносных приборов;
- осуществление автоматического отключения или включения основных и резервных вакуум-насосов;
- сброс газа в атмосферу через «свечу» и перекрытие подачи газа потребителю.

Кроме того необходимо решение комплекса задач, связанных с повышением эффективности ДС за счет оптимизации работы ее отдельных элементов.