

УДК 622.8: 551.131

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Назимко В.В. (ДонНТУ, з. Донецьк, Україна)

Показано, что применение нейронных сетей и генетических алгоритмов весьма эффективно для прогноза экологической ситуации и степени ее опасности.

Neural network and genetic algorithm are powerful means to predict ecological situation and safety.

Техногенна безпека держави є найважливішою складовою частиною екологічної безпеки. Найбільш актуальні задачі забезпечення сталого розвитку суспільства пов'язані з нагальною необхідністю регулювання економічною активністю держав, яка призвела до негативного техногенного впливу на зникнення цілих видів, функціонування екосистем та біологічну різноманітність, переміну клімату та погіршення якості питної води, втрату родючого ґрунту та поширення нових епідемій [1]. Ці проблеми найгостріше відчуються саме у Донбасі, де техногенне навантаження досягло максимального у Європі рівня. Одним із головних негативних чинників, що погіршують стан екологічної безпеки в Донбасі є вугільні, та інші шахти, багато з яких сьогодні закриваються, що додає нові проблеми, пов'язані з активізацією зрушень гірського масиву, затриманими у часі зрушеннями, порушенням гідродинамічної рівноваги підземних вод та інше. Зниження рівня екологічної небезпеки вирішується шляхом оцінок техногенного ризику та прогнозування впливу техногенного забруднення на навколишнє середовище, враховуючи критичні ситуації, що можуть виникати під час техногенних аварій чи природних катастроф. У статті наводяться приклади використання нейронних мереж та генетичних

алгоритмів для прогнозування розвитку вказаних небезпечних процесів.

Обґрунтування методу прогнозування та моделювання техногенних катастроф.

Оцінка ризику та можливого сценарію розвитку техногенної катастрофи є найважливішою складовою частиною системи попередження екологічної безпеки. Екологічні і техногенні зокрема катастрофи характеризуються великою кількістю чинників та факторів, що впливають та їх невизначеністю [2]. Спробуємо дати орієнтовну оцінку на прикладі трьох характерних для Донбасу типів техногенних катастроф, а саме; підземного вибуху метану, що призводить до численних жертв і короткочасного та довготривалого погіршення підземних екологічних умов; довготривалого зрушення гірського масиву та затриманого у часі провалу земної поверхні; а також зсуву. Останні дві катастрофи є такі, що породжують екологічну небезпеку для об'єктів на земній поверхні, та негативно впливають на гідродинаміку підземних вод. Перші дві катастрофи є техногенні натомість третя є природною. Об'єднує їх та обставина, що виникнення або розвиток цих катастроф прямо або побічно пов'язані з незворотними зрушеннями гірського масиву та ґрунту. Ці геомеханічні процеси керуються напруженнями, що діють у земній корі, та обумовлюються довготривалою міцністю порід і ґрунтів.

Катастрофа, що сталася у вугільній шахті [3] була спричинена проявом гірського тиску, що зумовив раптовий обвал покрівлі підготовчої виробки у секторі підземного гаражу. Породи, що упали, пошкодили акумуляторні батареї. Після обвалу з покрівлі почав виділятися метан, який вибухнув від електричної іскри, що утворилась в пошкодженій батареї підземного електровозу. Вибух метану генерував повторні обвалення, пожежу, та вибухи. Це було причиною численних людських жертв, та погіршення екології підземного простору. На ліквідацію катастрофи було витрачено кілька місяців, але ще довгий час зберігалась загроза погіршення підземної атмосфери з причини самозаймання пласту, що негативно впливало на умови

роботи шахтарів.

Аналіз показав, що катастрофа була створена сукупністю гірничо-геологічних, гірничотехнічних та психологічних чинників. Головними факторами, що викликали ланцюг негативних процесів є гірський тиск, та зокрема співвідношення компонент напружень і їх орієнтація відносно осі виробки, міцність та шаруватість порід покрівлі, присутність води в породах, що розташовані вище, конкретні параметри кріплення, зокрема довжина та щільність породних болтів, їх несуча спроможність, ширина виробки, метаноносність оточуючих порід, будова електровозу, ступінь захищеності електричних батарей від механічного ушкодження, уважність шахтарів, організація робіт по ліквідації проблемних секторів покрівлі, відсутність чіткого плану дій в екстремальній ситуації, що створилась, якість зв'язку та швидкість передачі інформації в підземному просторі, характер розгалуженості підземних виробок, схильність вугільного пласту до самозаймання, та інші. Отже налічується більше двох десятків факторів, що вплинули на аварійну ситуацію у копальні. З другого боку фахівці налічують десятки можливих варіантів чи сценаріїв розвитку катастрофи. При варіації чисельних величин факторів, що виділені виникає незліченна кількість варіантів розвитку катастрофи, що утруднює її прогнозування та аналіз.

Затримані зрушення гірського масиву над погашеними шахтами є одним з найбільш небезпечних чинників, що приводять до невизначеного в часі погіршення екологічної безпеки на земній поверхні та в товщі гірських порід. З одного боку, трапляються затримані у часі провали земної поверхні, що шкодить будівлям, спорудам, та створює небезпечні умови для людей [4]. По-друге, порушується гідрогеологічний режим в гірському масиві, що обумовлює підтоплення територій, забруднення підземних вод та неконтрольоване поширення шкідливих речовин, відтіснення метану на земну поверхню, в підвали будинків [5]. По-третє, виникає небезпека прориву підземних вод з шахт, що погашені у підземний простір діючих шахт через бар'єрні цілики [6]. Аналіз свідчить, що ці негативні

процеси залежать більше ніж від сорока чинників. Це надзвичайно утруднює прогнозування можливого розвитку подій, та керування процесом.

Зсуви ґрунту при похилому рельєфі дуже поширені у Донбасі і зокрема у приазовській місцевості. Ці небезпечні явища є природними але керуються процесами незворотних зміщень ґрунту при досягненні межі міцності порід. По суті ці процеси дуже подібні до процесів зсувів бортів кар'єрів або гірського масиву при підробці вугільних пластів. Зародження зсуву та його можливий розвиток підкоряється ряду чинників геологічної, гідрогеологічної, механічної та техногенної природи [7]. Кількість факторів, що управляють процесами природних чи спровокованих людською діяльністю зсувів не менша, ніж у випадку з затриманими провалами земної поверхні. У двох останніх ситуаціях багато факторів є стохастичними і наперед їх неможливо прогнозувати. Деякі фактори, наприклад міцність породи чи ґрунту можна спрогнозувати з певною ймовірністю.

Отже аналіз свідчить про те, що прогнозування екологічної небезпечної ситуації є складною проблемою, бо існує три чинники, які породжують надзвичайно велику кількість можливого розвитку ситуації: це велика кількість факторів, що впливають на процес, їх стохастичність, а також велика кількість можливих сценаріїв розвитку подій. Існує ще одна суттєва особливість екологічних катастроф, яка полягає в їх нелінійності. Нелінійність процесу полягає в тому, що незначна зміна величини певного параметра чи фактора може привести до кардинальної зміни характеру процесу. Наприклад збільшення концентрації газу в атмосфері вище критичного рівня призводить до вибуху, підвищення вологості ґрунту на кілька процентів може привести до катастрофічного розвитку зсуву і так далі. Прогнозування міри екологічної небезпеки в таких умовах практично неможливе, якщо використовувати традиційні методи пошуків, серед яких найбільш розроблені градієнтні методи.

Останнім часом інтенсивно розвивається новий напрямок, пов'язаний з використанням нейронних мереж та генетичних алгоритмів для розв'язання складних задач пошуку [8, 9]. Ці

методи скопійовані у природі і використовують ті прийоми та підходи, що існують у живій природі в процесі еволюціонування та виживання. Перш за все нейронні мережі надзвичайно пристосовані до моделювання нелінійних процесів. Градієнтні методи дуже вразливі в тих місцях, де похідна функції терпить розрив, чи невизначена. Нейронні мережі обробляють такі ситуації дуже легко завдяки нелінійним формам порогу чутливості.

Мережа складається з певної кількості нейронів, що поєднані між собою синапсами, або просто сполучені зв'язками. В практиці використовують різноманітні види нейронів та їх сполучень або мереж. На рис. 1 показаний один з популярних видів мереж. Вона містить вхідний, вихідний шар нейронів та один або декілька схованих нейронних шарів. Деякі, або всі нейрони поєднані синапсами або зв'язками між собою. Ці синапси показані стрілками. На вхідний шар нейронів подаються вхідні сигнали. В даному випадку на вхід будуть подаватися значення факторів, що впливають на процес, що погіршує екологічну безпеку. Так, на нейрон 1 вхідного шару подається сигнал (фактор) I_1 . На виході з нейрона сигнал O_{11} , що прямує у перший нейрон схованого шару перетворюється за допомогою порогової функції активації нейрона. Використовують цілий ряд функцій. Основним завданням таких функцій є перетворення вхідного сигналу у вихідний. Якщо вхідний сигнал більше обумовленої величини, або знаходиться в заданому інтервалі значень, нейрон спрацьовує і пропускає через себе сигнал, або як кажуть вистрілює. Функція активації нейрона може мати вигляд:

$$O = 1 / (1 + \exp(-w I + S)), \quad (1)$$

де: O – вихідний сигнал або фактор; w – ваговий коефіцієнт синапсу або зв'язку; I – вхідний сигнал або фактор; S – зміщення.

На рис. 2 показана функція активації нейрона при $w = 5$, та $S = 0,25$. Підкреслимо, що всі вхідні сигнали нормуються, тобто використовуються тільки в безрозмірному виді. Це робиться задля того, щоб всі фактори або вхідні сигнали були співрозмірні.

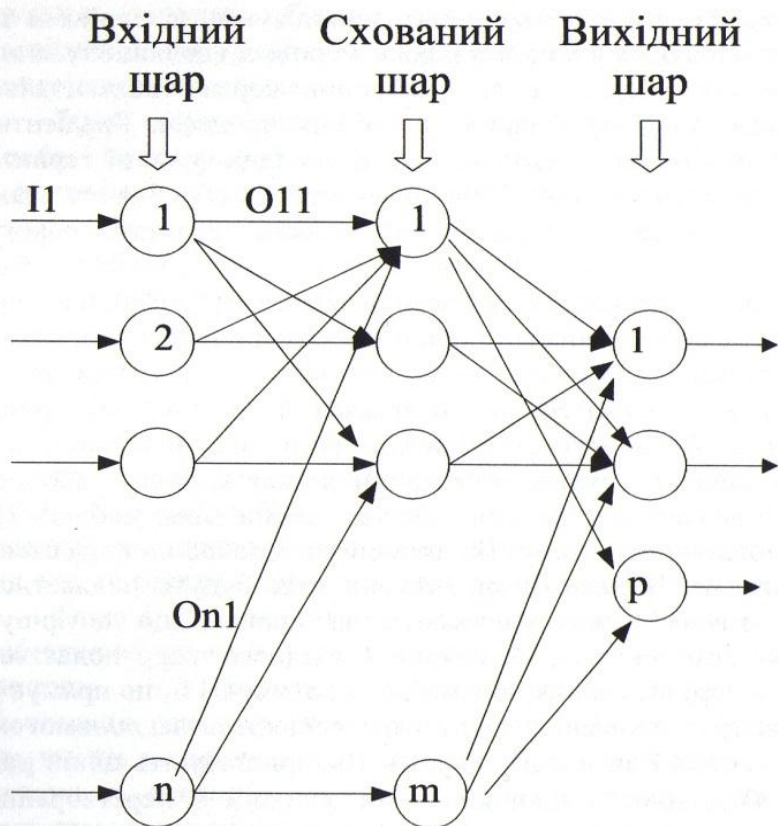


Рис. 1. Нейронна мережа для прогнозування екологічної ситуації

Так, наприклад, міцність порід на розтягнення змінюється в діапазоні від 0 МПа до 20 МПа, тоді як коефіцієнт внутрішнього тертя від 0,1 до 0,8. Активація нейрона може змінюватись стрибкоподібно. Важливо, що до якогось моменту вихідний сигнал відсутній, або дуже малий, потім збільшується згідно вибраного закону (миттєво стрибкоподібно, або плавно, як на рис. 2, і т.п.) а потім після перевищення вхідного сигналу певного

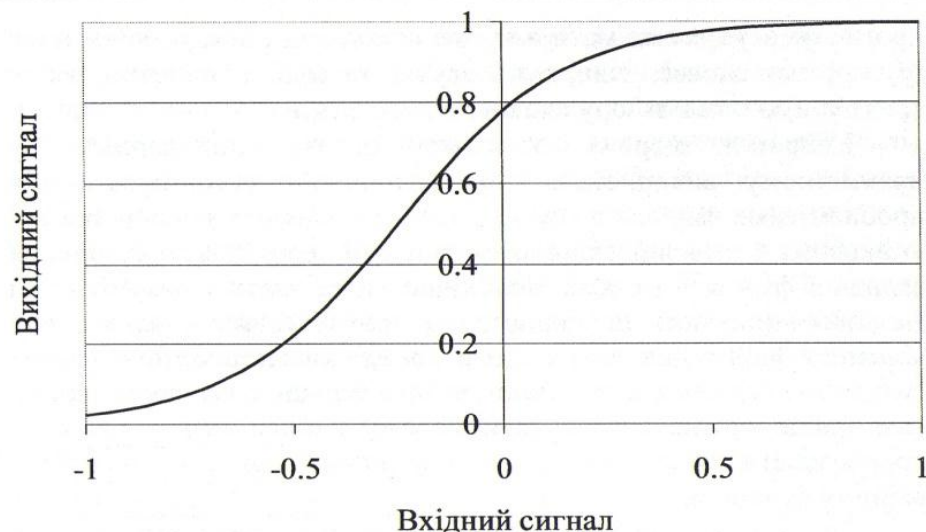


Рис. 2. Порогова функція активації нейрона

значення вихідний сигнал збільшується до максимуму і далі залишається постійною величиною незалежно від значення вхідного сигналу або фактора. Саме в цьому полягає нелінійність функціонування нейрону. Ця дуже цінна якість дозволяє комбінуванням різних нейронів досягати такої прогнозовної здібності мереж, яка просто теоретично неможлива для традиційних градієнтних методів.

Нейрони, що розташовані у схованому шарі збирають вихідні сигнали, які виходять з нейронів вхідного шару. Це означає, що кожен нейрон у схованому шарі просто підсумовує всі сигнали, що прямують до нього. Потім сумарний сигнал перетворюється в нейроні схованого шару за допомогою аналогічної функції активації і потрапляє на вихідний нейрон. Вихідні нейрони також підсумовують відповідні сигнали, що потрапляють зі схованого шару, після чого перетворюються активаційними функціями. Результатом є вихід мережі. Мережа може мати кілька вихідних сигналів. Наприклад, мережа, що

прогнозує зсув, може мати в якості виходів час зсуву, об'єм маси ґрунту, що сповзе, швидкість зсуву, та інші параметри, які є критичними з точки зору екологічної безпеки.

Нейронні мережі отримали велику популярність у практичному використанні при вирішенні суто практичних проблем саме завдяки тому, що вони звільняють дослідника від уникнення в тонкощі фізичного процесу і необхідності створення складної фізичної моделі. Необхідно лише знати і розуміти, які фактори впливають на процес, що прогнозується і мати певну кількість фактичних даних щодо поведінки системи при різних ситуаціях, що створились раніше. Чим більше база таких даних, тим краще можна натренувати мережу і підсилити її здібність прогнозувати поведінку системи у нових умовах, чи наборі вхідних факторів.

Тренування мережі на базі фактичних даних виконується для того, щоб підібрати такі значення вагових коефіцієнтів синапсів та зміщень у всіх нейронах, при яких вихідні сигнали, що генеруються мережею як найближче відповідали фактичним значенням вихідних факторів. Після досягнення допустимого сумарного відхилення мережних вихідних сигналів та фактичних тренування закінчується і мережа може бути використана в якості системи для прогнозування.

Пошук оптимального набору вагових коефіцієнтів та зміщень і є головною трудностю. Справа в тому, що множина можливих значень коефіцієнтів та зміщень і особливо їх сполучень практично безкінечна. Функція, що віддзеркалює можливі відхилення має багато ступенів свободи, розриви, та безліч локальних мінімумів. Тому градієнтний пошук набору, що забезпечує мінімум сумарних відхилень не може забезпечити досягнення глобального мінімуму відхилень і не застрахований від пасток у формі розривів. Крім того, навіть при відсутності локальних мінімумів (чого практично не буває) досягти цілі градієнтними методами направлено пошуку в розумний відрізок часу при такій кількості факторів (ступенів свободи) практично неможливо. Саме для вирішення цієї задачі використовується генетичний алгоритм.

Для цього породжується набір мереж однакової архітектури, але з різними наборами вагових коефіцієнтів та зміщень. Ці набори записуються для кожної мережі в однаковому порядку (спочатку для першого нейрона, потім для другого і так далі). Отже кожна мережа однозначно відображається набором коефіцієнтів та зміщень. Цей набір фактично характеризує спадковість мережі і тому зветься хромосомою, в якій гени представлені коефіцієнтами та зміщеннями. На рис. 3 зверху показана пара таких хромосом до схрещування. Чим більше в мережі нейронів та зв'язків між ними, тим довша її хромосома. Дві хромосоми поточного покоління мереж (батьки)

W1	S1	W2	S2	W3	S3					Wn	Sn
1.3	3.0	2.0	-0.8	-3.2	1.5					-2.1	-0.6

W1	S1	W2	S2	W3	S3					Wn	Sn
0.25	-1.8	-3.2	2.4	0.95	0.02					1.3	-0.3

Хромосоми послідуочого покоління (діти) після схрещування

W1	S1	W2	S2	W3	S3					Wn	Sn
0.25	-1.8	-3.2	2.4	-3.2	1.5					-2.1	-0.6

W1	S1	W2	S2	W3	S3					Wn	Sn
1.3	3.0	2.0	-0.8	0.95	0.02					-0.03	-0.3

Рис. 3. Схема схрещування хромосом двох нейронних мереж

Пошук оптимальної мережі здійснюється засобами генетичного алгоритму, який копіює природний відбір, що відбувається у живій природі. Спочатку алгоритм перевіряє кожну мережу на фітнес. Для цього на вхід мережі подають фактичні значення факторів з бази даних, що репрезентує експериментальні спостереження за розвитком ситуацій, які загрожували екологічній безпеці. Наприклад це можуть бути дані моніторингу провалів земної поверхні над погашеними

вугільними шахтами. Такі бази даних створені і доступні для широкого доступу в США, Англії, Польщі та других країнах, що довгий час добувають вугілля і які зіштовхуються з проблемою забезпечення екологічної безпеки вугледобувних регіонів. Така база даних накопичена і в Україні [5]. Потім кожна мережа для кожного конкретного випадку прогнозує вихідні дані. В даному випадку вона може прогнозувати час виникнення провалу земної поверхні, розміри провалу, масштаби пошкодження, забруднення підземних вод і т.і. Після цього прогнозні дані порівнюються з фактичними з бази даних і підсумовується похибка або відхилення прогнозу від факту. Чим менше сумарне відхилення, тим більше фітнес мережі.

Кожній мережі генетичний алгоритм дає змогу брати участь у паруванні та породженні нащадків. У кожній поточній сесії алгоритм визначає кожній мережі ймовірність участі у паруванні, яка пропорційна її фітнесу. Отже чим вище фітнес мережі або її здібність прогнозувати, тим більше вірогідність дати нащадка. Після парування мереж генетичний алгоритм визначає ділянку хромосоми де відбудеться схрещування. Точка, де відбудеться схрещування визначається за допомогою генератора випадкових чисел. На верхньому фрагменту рис. 3 ділянки до точки схрещування обведені у жирні рамки. На нижньому фрагменту рис. 3 демонструється пара нащадків, що утворилися після схрещування. Гени, якими обмінялися хромосоми, виділені курсивом.

Цикл визначення фітнесу та схрещування повторюється багато разів. Після кожного циклу створюється нова генерація мереж. При вирішенні реальних задач прогнозування екологічної ситуації виникає необхідність в утворенні сотень тисяч і навіть мільйонів генерацій, що потребує потужних швидкодіючих сучасних комп'ютерів. В останній генерації відбирається мережа, що має максимальний фітнес, тобто прогноуючі можливості якої є найкращі.

Останній важливий момент у процесі природного відбору стосується мутацій, які згідно генетичних законів відбуваються вельми рідко і на обмежених ділянках хромосом. Ділянка мутації

вибирається на основі генератора випадкових чисел. Також амплітуда мутації визначається випадково. Це дає змогу створювати принципово нові гени (вагові коефіцієнти та зміщення), що несуть нові ознаки, яких не було раніше. В самій нижній хромосомі ген після мутації показаний жирним шрифтом. Фактор після мутації дорівнює $-0,03$, тоді як до мутації він дорівнював $1,3$. Така властивість є надзвичайно важливою для еволюції мереж. Мутації вибивають мережі з локальних мінімумів фітнесу. В такі пастки часто потрапляють майже всі мережі.

Отже завдяки інтенсивному використанню випадковості на всіх основних етапах природного відбору (тобто при визначенні ділянок схрещування хромосом, виборі партнерів для схрещування, секторів мутації, ймовірності мутації, та її амплітуди), та постійному тискові відбору забезпечується потужний направлений пошук оптимальної мережі одночасно у всіх напрямках, тобто по всіх ступенях свободи, або серед всіх факторів та їх можливих значень. Саме ці якості гарантують успішне тренування мереж і виведення екземпляру, який може добре прогнозувати складну екологічну ситуацію з великою кількістю факторів та невизначеністю. Так через випадковість і відбір кращого реалізується направлений пошук оптимальної нейтронної мережі.

Прогнозування провалу земної поверхні/

Одною з найбільш поширених проблем у Донбасі є затримані у часі провали земної поверхні. Вирішенню проблеми прогнозування таких провалів та вибору раціональних методів запобігання присвячена певна кількість робіт [3, 4, 10]. У статті [11] описана експертна система у виді нейтронної мережі для вибору раціональної технології керування станом масиву гірських порід над покинутими вугільними шахтами. Задача вибору ускладнювалась тим, що параметри провалів (час провалу, його розміри, стан порід у підробленій зоні) були настільки невизначені, що треба було оперувати якісними семантичними показниками. Наприклад площа ціликів, що залишились у погашеній шахті розділялась на велику, середню та

малу. Стійкість масиву визначалась, як велика, коли земна поверхня залишалась стабільною „довго”, середня та мала, коли поверхня обвалювалась через „помірний проміжок часу” чи відповідно „швидко”. Усього було виділено п’ять важливих факторів, що визначали стан гірського масиву. Серед цих факторів була площа ціликів, середня міцність масиву, міцність стійкого породного шару, глибина покинутого вугільного пласту, та відстань від виробленого простору до стійкого шару.

Для маніпулювання якісними показниками застосували засоби нечіткої логіки. При цьому кожному поняттю „великий”, „середній” чи „малий” співставили множину кількісних показників. Так інтервал часу протягом якого поверхня залишалась стабільною вважали „коротким”, коли вона обвалювалась через 0-10 років. „Середній” інтервал співвідносився з діапазоном 5-30 років і т.д. Це означає, що якісні показники мають нечіткі границі і перехрещуються. Для чисельного аналізу якісні фактори перетворювались у кількісні шляхом так званої дефuzифікації, а результати повертались до зручного та звичного для користувача якісного виду зворотним процесом фузифікації.

Нейронна мережа мала п’ять нейронів у вхідному шарі, три у схованому і три у вихідному. Спочатку тренування виконувалось шляхом почергової підстановки наборів даних одній і тій же мережі. Мережа не встигала забувати вагові коефіцієнти і таким чином поступово дрейфувала до середньозважених значень коефіцієнтів. Проте стабільність процесу тренування, та надійність його результатів була незадовільна.

Натомість застосування генетичного алгоритму дозволило вирішити проблему тренування швидко і якісно. Перед тренуванням було породжено 40 мереж з різним набором вагових коефіцієнтів та зміщень. Шляхом послідовних наближень були встановлені оптимальні величини ймовірності схрещувань, мутацій, та максимально можливих амплітуд цих мутацій. Після цього спостерігалось стійке зростання як середньої величини фітнесу, так і максимальної (рис. 4). Протягом 12 тисяч генерацій

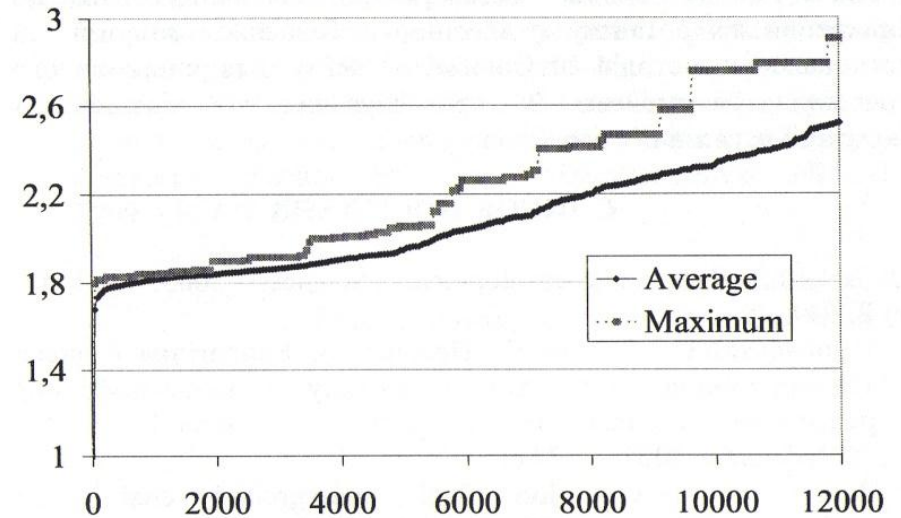


Рис. 4. Хід тренування нейронних мереж

або змін покоління мереж сумарна похибка прогнозування зменшилась у 1,61 рази, що дуже вагомо. Достатньо сказати, що прогнозна здібність кращої мережі, натренованої генетичним алгоритмом була суттєво кращою у порівнянні з мережею, яка тренувалась методом послідовних наближень [10]. Так мережа, що тренувалась методом послідовних наближень не знала відповіді на запитання у 30 відсотках випадків, натомість мережа, тренована генетичним алгоритмом давала впевнену відповідь у 95 відсотках.

Висновки.

Нейронні мережі в поєднанні з генетичними алгоритмами є потенційно потужним засобом прогнозування екологічно небезпечних ситуацій, які є суттєво нелінійним процесом та характеризуються великою кількістю факторів, що впливають на сценарій розвитку ситуації, та невизначеністю цих факторів.

Подальші дослідження треба проводити в таких напрямках як організація національних відкритих баз даних та їх

накопичення на основі моніторингу фактичних випадків виникнення та розвитку екологічно небезпечної ситуації, та удосконалення методів штучного інтелекту для оперативного управління ситуаціями, їх прогнозування та ліквідації і мінімізації негативних наслідків.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Sachs J.D. Sustainable development // Science. – 2003. – №304 – Р. 649.
2. Гошовський С., Рудько Г., Преснер Б. Екологічна безпека техноприродних геосистем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів. - Львів-К.: ЗАТ "НІЧЛАВА", 2003. – 624 с.
3. Report of investigation fatal underground coal mine explosion//US Dep. MSHA, ID No 01-01322, 2002.
4. Звягильский Е.Л. и др. Геомеханические основы предотвращения провалов земной поверхности при ликвидации шахт.-Донецк: «Норд-компьютер», 2001.-334с.
5. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины: Монография / Под редакцией Ю.Н.Гавриленко, В.Н. Ермакова. – Донецк, 2004. – 632 с.
6. Ермаков В.Н., Егоров С.Г., Улицкий О.А., Віростков И.В., Грядущий Ю.Б., Иванов И.Е. Анализ напряженно-деформированного состояния целика между погашенной и действующей шахтами // Проблеми горного давления. – Донецк: ООО "Инфо-ЛТД". – 2001. – №6. – С. 112-135.
7. Nazimko V.V., Nazimko I.V. Investigation of land-slide development/First International Virtual Congress, Geotechnology section. – CEWORLD: ASCE, 2002. – 12 p.
8. Kosko B. Neural network and fuzzy systems: a dynamical approach to machine intelligence. – Englewood Cliffs: Prentice Hall. – 1992. – 235 p.
9. Machaliewicz Z. Genetic algorithms + data structures = evolutionary programs. – Berlin: Spinger Verlag, 1992. – 387 с.

10. Косаков И.Г., Докукин О.С. Концептуальные основы экологической безопасности в регионах закрытия шахт // Уголь Украины. - 1999. - №2. – С. 14-15.
11. Nazimko V.V., Zviagilsky E.L. A knowledge base system for ground control over abandoned mines // Mine planning and equipment selection. Int. conf. – Dnepropetrovsk: NMUU. – 1999. - P. 777-782.

Здано до редакції 03.04.04 р.
Рекомендовано до друку д.т.н. Святним В.А.