



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

2011, ТОМ 17, НОМЕР 1, 25–32

УДК 539.3

(11)-0230-0

## **РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ДОВГОВІЧНОСТІ КОРОДУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ОБМЕЖЕННІ НА ГРАНИЧНУ ПОХИБКУ**

**Д. Г. Зеленцов, О. А. Радуль**

*ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»,  
пр. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, Україна, 49005.  
E-mail: Alex\_dp2002@ukr.net*

*Отримана 10 січня 2011; прийнята 28 січня 2011.*

**Анотація.** Пропонується розв'язання задачі довговічності статично невизначуваної десятиелементної ферми, що працює в сильноагресивному середовищі. Розглядається загальний випадок корозійної взаємодії, коли швидкість корозії залежить від механічних напружень. Описані існуючі підходи до розв'язання задачі та визначення похибки розв'язання, зазначені їх переваги та недоліки. Обґрунтовано доцільність використання бази знань про вплив різних факторів на похибку чисельного розв'язання задачі довговічності кородуючих конструкцій для визначення кроку інтегрування системи диференціальних рівнянь, що описують процес корозійного руйнування. Досліджується можливість використання штучних нейронних мереж з метою забезпечення заданої точності розрахунку довговічності ферм при одночасній мінімізації кількості звернень до процедури метода скінчених елементів. Використовується серія штучних нейронних мереж прямого розповсюдження сигналу з одним прихованим шаром нейронів. Наведена чисельна ілюстрація запропонованого підходу.

**Ключові слова:** будівельна механіка, статично невизначувана ферма, корозійний знос, довговічність, метод скінчених елементів, крок інтегрування, гранична похибка, штучні нейронні мережі, база знань.

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОРРОДИРУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ НА ДОПУСТИМУЮ ПОГРЕШНОСТЬ**

**Д. Г. Зеленцов, А. А. Радуль**

*ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»,  
пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, Украина, 49005.  
E-mail: Alex\_dp2002@ukr.net*

*Получена 10 января 2011; принята 28 января 2011.*

**Аннотация.** Предлагается решение задачи долговечности статически неопределимой десятиэлементной фермы, работающей в сильноагрессивной среде. Рассматривается общий случай коррозионного взаимодействия, когда скорость коррозии зависит от механических напряжений. Описаны существующие подходы к решению задачи и определению погрешности решения, указаны их преимущества и недостатки. Обоснована целесообразность использования базы знаний о влиянии различных факторов на погрешность численного решения задачи долговечности корродирующих конструкций для определения шага интегрирования системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс коррозионного разрушения. Исследуется возможность использования искусственных нейронных сетей с целью обеспечения заданной точности расчета долговечности ферм при одновременной минимизации количества обращений к процедуре метода конечных элементов. Используется серия искусственных нейронных сетей прямого распространения сигнала с одним скрытым слоем нейронов. Приведена численная иллюстрация предложенного подхода.

**Ключевые слова:** строительная механика, статически неопределимая ферма, коррозионный износ, долговечность, метод конечных элементов, шаг интегрирования, предельная погрешность, искусственные нейронные сети, база знаний.

## THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF CORRODING STRUCTURES DURABILITY UNDER THE CONSTRAINT ON THE ALLOWABLE ERROR

Zelentsov Dmytro, Radul Oleksandr

*SHEE «Ukrainian State University of Chemical Engineering»,  
8, Gagarina Av., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005.  
E-mail: Alex\_dp2002@ukr.net*

*Received 10 January 2011; accepted 28 January 2011.*

**Abstract.** The solution for the problem of durability of the statically indefinable deca-bar truss operating in the active corrosive medium has been proposed. The general case of corrosion interaction, when speed of corrosion depends on stresses, has been considered. The existing approaches to problem solution and to determination of solution error have been described and their advantages and disadvantages have been pointed out. The expediency of application of the knowledge base about the influence of various factors on the accuracy of the numerical solution of durability of corroding structures to determine the integration step of the system of differential equations, describing the process of corrosion wear, has been substantiated. The possibility of artificial neural networks application in order to ensure a specified accuracy of the calculation of truss's durability, while minimizing the number of calls to the procedure of the finite element method, has been studied. The series of artificial neural networks with the direct signal propagation and one hidden layer have been used. The numerical illustration of the proposed approach has been cited.

**Keywords:** structural mechanics, statically indefinable truss, corrosive wear, durability, method of finite elements, integration step, allowable error, artificial neural network, knowledge base.

### Вступ

Важливою проблемою будівельної механіки є підвищення довговічності елементів конструкцій з урахуванням виконання вимог по міцності при одночасному зниженні їхньої матеріаломісткості. Якщо конструкції експлуатуються в агресивному середовищі, то напруження, що виникають в елементах конструкцій, викликають прискорення корозійного процесу в цих елементах. Корозійний знос призводить до зміни геометричних розмірів елементів, а це, в свою чергу, викликає перерозподіл напружень і зусиль в елементах конструкцій. Тому є актуальними задачі розробки методів й алгоритмів розрахунку конструкцій, що працюють в умовах корозійного зносу. Ці методи повинні не тільки враховувати зміну в часі геометричних характеристик конструкцій і дозволяти оцінювати розрахунковим шляхом зниження несучої здатності та

скорочення довговічності конструкцій, а і забезпечувати задану точність розрахунку.

Останнім часом розповсюдження набуває використання елементів штучного інтелекту, таких як штучні нейронні мережі (ШНМ), в різних прикладних технічних науках. Зокрема відомо використання штучних нейронних мереж при проектуванні [1] та прогнозуванні поведінки [2] будівель, що піддаються впливу складних природних умов та оптимізації будівельних конструкцій [3]. В роботі [4] описана нейромережева модель оцінки залишкової несучої здатності бетонних конструкцій, що працюють в агресивному середовищі.

### Постановка задачі

Дослідження довговічності кородуючих конструкцій передбачає спільне розв'язання задачі напружено-деформованого стану (НДС)

конструкції та системи диференціальних рівнянь (СДР), що описують процес корозії в елементах або характерних точках конструкції. Для загального випадку корозії СДР має вигляд:

$$\frac{d\delta_i}{dt} = v_0 \cdot \psi[\sigma_i(\delta)]; \quad \delta_i \Big|_{t=0} = 0; \quad i = 1, N, \quad (1)$$

де  $\delta_i$  – глибина корозійного ураження;  $v_0$  – швидкість корозії за відсутності напружень;  $\sigma_i$  – напруження;  $t$  – час;  $\psi$  – деяка функція напружень;  $N$  – кількість елементів або характерних точок конструкції.

Використовуючи для розв'язання (1) який-небудь чисельний метод, можна отримати значення глибини корозії  $\delta_i$  в будь-який момент часу  $t^s$ :

$$\delta_i^s = \delta_i^{s-1} + \Delta t^s \cdot v_0 \cdot \psi[\sigma_i^{s-1}(\delta^s)]. \quad (2)$$

З формули (2) випливає, що задача НДС повинна розв'язуватись на кожній ітерації інтегрування СДР. Стан конструкції вважається критичним, коли напруження в будь-якому елементі (або точці) конструкції досягають своїх граничних значень, тобто довговічність є розв'язком рівняння:

$$\sigma_i^s(t) = [\sigma]. \quad (3)$$

Очевидно, що точність розв'язання задачі буде залежати від точності визначення напружень і, як випливає з (2), від кроку інтегрування СДР.

З урахуванням того, що замовника цікавить не лише розрахункове значення довговічності, але і точність, з якою воно отримане, то проблема вибору кроку інтегрування набуває самостійного значення.

Розв'язання поставленої задачі передбачає наявність еталонного розв'язку – розв'язку, отриманого точно або приблизно, але з контрольованою похибкою. Тоді величина кроку інтегрування може бути отримана з рівняння:

$$t_{емал.} - t_{числ.}(\Delta t) \leq \varepsilon. \quad (4)$$

Для отримання еталонного розв'язку традиційно використовуються наступні підходи.

Перший з них полягає в послідовному розв'язанні з різними значеннями кроку інтегрування  $\Delta t$  [5]. При послідовному зменшенні  $\Delta t$  можна отримати асимптотично точний розв'язок задачі,

який і приймається в якості еталонного. Такий підхід здається авторам занадто складним та потребує надмірних обчислювальних затрат. Він може бути використаний при розв'язанні якої-небудь конкретної задачі, але є цілком неприйнятним при розв'язанні задачі оптимізації, коли довговічність конструкції визначається на кожному кроці пошуку оптимального проекту.

Другий підхід базується на використанні аналітичних формул довговічності окремих конструкційних елементів. Наприклад, довговічність кородуючого стержня при одноосному навантаженні може бути отримана по формулі [6]:

$$t = t_0 - 2kQ \left[ \arctg \frac{2a\delta + b}{d_1} - \arctg \frac{b}{d_1} \right] \frac{1}{v_0 d_1}, \quad (5)$$

$$t = t_0 - 2kQ \ln \left[ \frac{(2a\delta + b - d_2)(b + d_2)}{(b - d_2)(2a\delta + b + d_2)} \right] \frac{1}{v_0 d_2}. \quad (6)$$

В (2) та (3) прийняті наступні позначення:  $Q$  – осьове навантаження;  $s$  – коефіцієнт форми перерізу;  $P_0$  и  $F_0$  – відповідно периметр та площа перерізу в початковий момент часу. В залежності від форми поперечного перерізу стержня ( $s = \pi$  для круглого перерізу та  $s = 4$  для фасонних профілів). Тут також  $t_0 = \delta' v_0$ ;  $a = s$ ;  $b = -P_0$ ;  $c = F_0 + kQ$ . Тоді дискримінанти  $d_1 = \sqrt{4ac - b^2}$  і  $d_2 = \sqrt{b^2 - 4ac}$  запишуться наступним чином:  $d_1 = \sqrt{4s(F_0 + kQ) - (-P_0)^2}$  і  $d_2 = \sqrt{(-P_0)^2 - 4s(F_0 + kQ)}$  відповідно. Розв'язок (5) реалізується при  $4ac - b^2 > 0$ , розв'язок (6) – при  $4ac - b^2 < 0$ .

Слід зазначити, що аналітичні формули можуть бути отримані лише для деяких моделей корозійного зносу. Наведені вище формули отримані для моделі виду [7]:

$$\frac{d\delta}{dt} = v_0(1 + k\sigma), \quad (7)$$

де  $k$  – коефіцієнт впливу напружень на швидкість корозії.

Багато інших відомих моделей корозійного зносу [8, 9] досить точно можуть бути приведені до моделі (7) за допомогою процедур, докладно описаних в роботі [10].

Формули (5) та (6) отримані при умові, що зусилля в стержні є постійними протягом всього

часу роботи конструкції. Таким чином, формули (5) та (6) можуть успішно застосовуватись для визначення довговічності статично визначуваних ферм. При розрахунку статично невизначуваних конструкцій вони можуть бути використані лише для обґрунтування вибору кроку інтегрування. В цьому разі  $\Delta t$  може бути визначений з рівняння (4), де  $t_{\text{емал}}$  та  $t_{\text{числ}}$  знаходяться для одного елемента конструкції, довговічність якого і визначає довговічність всієї конструкції. Модифікацією даного підходу є алгоритм, що базується на задаванні кроку інтегрування не по часу  $\Delta t$ , а по напруженню  $\Delta \sigma$  [11], а крок  $\Delta t$  розраховується по значенню  $\Delta \sigma$  для елемента з найменшою очікуваною довговічністю (ведучого елемента). В цілому даний підхід здається більш привабливим, ніж перший, але при розв'язанні оптимізаційної задачі він навряд чи є прийнятним.

З урахуванням недоліків описаних підходів, авторами пропонується новий алгоритм розв'язання задачі довговічності кородуючих шарнірно-стержневих конструкцій при умові отримання розв'язку з заданою точністю. Цей алгоритм базується на використанні ШНМ для розв'язання задачі вибору кроку інтегрування. В даному випадку ШНМ є моделлю бази знань про вплив таких факторів як швидкість корозії  $v_0$ , початкові геометричні характеристики перерізу стержня і початкові напруження  $\sigma_0$ , на вибір такого кроку інтегрування  $\Delta t$ , що забезпечує задану точність розв'язання задачі в цілому.

### Схема розв'язання задачі

Схема розв'язання задачі в цьому випадку зображена на рис. 1.

В даній схемі – блок (А) є модулем розв'язання задачі НДС, в результаті чого формується вектор напружень в елементах конструкції;

– блок (В) виконує наближений розрахунок довговічності конструкції по аналітичних формулах (5) та (6), при цьому визначається номер найменш довговічного елемента конструкції (ведучий елемент);

– блок (С) є базою знань у вигляді ШНМ, структура якої описується нижче. На основі інформації про геометричні характеристики перерізу ведучого елемента, початкових напружень у ньому, швидкості корозії та заданої точності визначається значення кроку інтегрування  $\Delta t$ , що забезпечує задану точність.

– блоки (D) та (A) виконують розв'язання задачі Коші для СДР (1).

### Структура штучної нейронної мережі

Зупинимося докладніше на блоці (С), тобто структурі ШНМ, способі її навчання та підбору зразків для навчання. Була обрана ШНМ прямого розповсюдження сигналу з одним прихованим шаром [12]. Експериментально була визначена оптимальна для даної задачі архітектура: чотири нейрони вхідного шару (швидкість корозії  $v_0$ , початковий периметр перерізу  $P_0$ , початкова площа перерізу  $A_0$ , початкові напруження  $\sigma_0$ ), п'ять нейронів прихованого шару і один нейрон вихідного шару (крок інтегрування  $\Delta t$ , що забезпечує задану точність розв'язання задачі) (рис. 2).

Для навчання ШНМ був отриманий масив зразків, що являють собою генеровані випадковим чином із заданих інтервалів параметри конструкції і агресивного середовища і відповідне їм значення кроку інтегрування, що забезпечує точність розв'язання задачі не нижче заданого. Масив зразків був розділений на дві частини: одна для навчання ШНМ, інша – для тестування. Зразки з першої групи по черзі

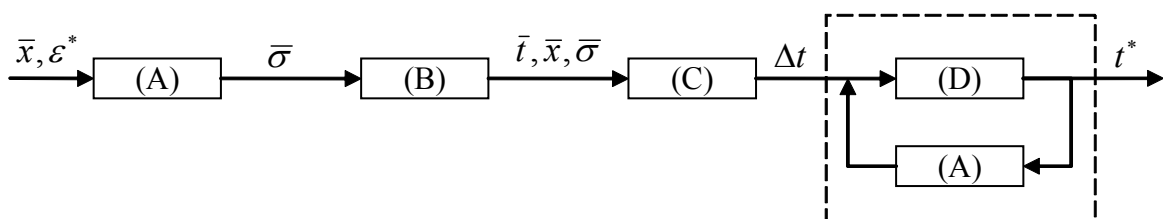


Рисунок 1. Схема розв'язання задачі.

подавалися на вхід мережі, обчислювалося значення кроку інтегрування і порівнювалося з еталонним значенням. Після чого вагові коефіцієнти ШНМ коректувалися на величину помилки методом зворотного розповсюдження помилки [13]. Навчання мережі проводилось до тих пір, доки помилка ШНМ на тестових зразках не зменшилася до прийнятних значень.

### Чисельна ілюстрація та аналіз результатів

В якості модельної пропонується розв'язання задачі довговічності статично невизначуваної, десятиелементної, навантаженої, плоскої шарнірно-стержневої конструкції, що піддається впливу агресивного середовища, геометрична схема і навантаження якої показане на рис. 3. Конструкція є подібною до ферми, розглянутої в [3].

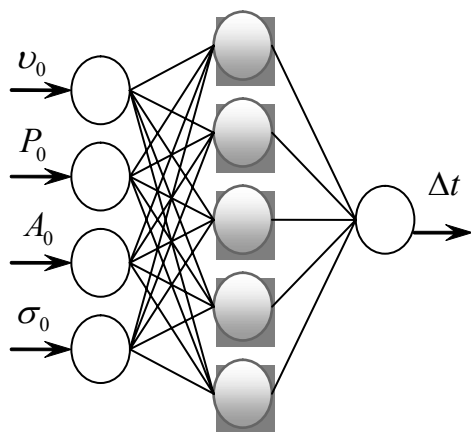


Рисунок 2. Архітектура ШНМ.

Параметри конструкції і механічні характеристики її матеріалу вважаємо відомими:  $L = 1,0$  м;  $E = 2,1 \times 10^5$  МПа;  $[\sigma] = 240$  МПа. Величина прикладеного навантаження  $Q = 20$  кН. Параметри корозійного руйнування:  $\nu_0 = 0,1$  см/год;  $k = 0,005$  МПа<sup>-1</sup>. Всі стержні мають рівний переріз у формі прокатного рівнобічного кутника № 18.

Еталонний розв'язок  $t = 2,251p$ . був отриманий шляхом зменшення кроку інтегрування до  $\Delta t = 0,001p$ .

В таблиці 1 наведені результати розрахунку довговічності ферми, отримані без використання ШНМ. У цьому випадку крок інтегрування  $\Delta t$  є вхідним параметром задачі. При зміні кроку інтегрування від 0,01 до 0,30 року похибка розв'язання відносно еталонного розв'язку змінюється від 0,09 до 2,41 %. Для отримання значень похибки необхідна наявність еталонного розв'язку, тобто оцінка похибки

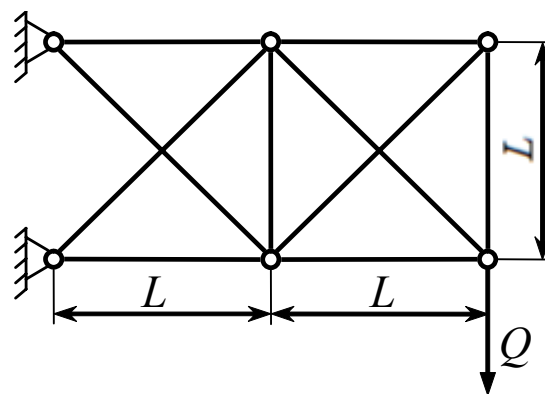


Рисунок 3. Розрахункова схема ферми.

Таблиця 1. Результати розрахунку довговічності, отримані без використання ШНМ

$\Delta t$ , років	$t^*$ , років	$\varepsilon$ , %	$N$ , ітерацій
0.001	2.251	–	2252
0.010	2.254	0.09	226
0.100	2.273	0.95	23
0.200	2.290	1.73	12
0.300	2.306	2.41	8

може бути отримана лише після багатократно-го розв'язання задачі з різними значеннями кроку інтегрування  $\Delta t$ .

Дані, наведені в таблиці 2, отримані з використанням ШНМ. Тут приведені гранично допустимі значення похибки розв'язання, відповідні ним значення кроку інтегрування, кількість ітерацій при чисельному розв'язанні СДР та дійсне значення похибки відносно еталонного розв'язку.

Дійсне значення похибки відрізняється від гранично допустимого, оскільки:

- по-перше, конструкція є статично невизначуваною, тобто протягом строку служби в її елементах виникає зміна зусиль (зусилля можуть як збільшуватись, та і зменшуватись), в той час як зразки для навчання та тестування ШНМ були отримані для постійних осьових зусиль;

– по-друге, довговічність зразків для навчання і тестування ШНМ визначалась з умов міцності, в той час як довговічність ферми визначалась елементом, що працює на стискування, тобто умовами втрати стійкості.

Безумовно має місце і похибка ШНМ, але її вплив на точність отриманих розв'язків незрівнянно менший за перелічені вище складові.

### Висновки

Наведений вище розрахунок дозволяє зробити висновок про те, що запропонований підхід є надійним, ефективним та зручним у використанні. Використання в розглянутому алгоритмі бази знань у вигляді штучної нейронної мережі дозволяє зробити висновок про створення інтелектуальної інформаційної системи розв'язання задачі довговічності кородуючих ферм.

**Таблиця 2.** Результати розрахунку довговічності, отримані з використанням ШНМ

$\varepsilon^*$ , %	$\Delta t$ , років	$N$ , ітерацій	$\varepsilon$ , %
1	0.082	27	0.80
2	0.183	12	1.76
3	0.234	10	2.23

### Література

1. Chassiakos, A. G. Modeling unknown structural systems through the use of neural networks / A. G. Chassiakos, S. F. Masri // *Earthquake Engineering. Then World Conference.* – Rotterdam, 1992. – P. 2179–2184.
2. Xiekang, Wang. Effect of Data Structure for Time Series Prediction Using Time Delay Neural Network / Xiekang Wang, Weizhen Lu, Shuyou Cao // *Computational mechanics: proceedings of the Sixth World Congress.* – Beijing, China. – 2004. – P. 721–733.
3. Laszlo, Berke. Application of neural nets in structural optimization / Laszlo Berke, Prabhat Hajela // *Proceedings of NATO/DFG Advanced Study Institute on Optimization of Large Structural Systems.* – Berchtesgarden, Germany. – 1991. – Vol. 2. – P. 731–746.

### References

1. Chassiakos, A. G.; Masri, S. F. Modeling unknown structural systems through the use of neural networks. *Earthquake Engineering. Then World Conference.* Rotterdam, 1992, p. 2179–2184.
2. Xiekang, Wang; Weizhen, Lu; Shuyou, Cao. Effect of Data Structure for Time Series Prediction Using Time Delay Neural Network. *Computational mechanics: proceedings of the Sixth World Congress.* Beijing, China, 2004, p. 721–733.
3. Laszlo, Berke; Prabhat, Hajela. Application of neural nets in structural optimization. *Proceedings of NATO/DFG Advanced Study Institute on Optimization of Large Structural Systems.* Berchtesgarden, Germany, 1991, Vol. 2, p. 731–746.
4. Cheang-Martinez, A. Corrosion prediction and annual maintenance improvement of concrete structural components using neural networks.

4. Cheang-Martinez, A. Corrosion prediction and annual maintenance improvement of concrete structural components using neural networks / A. Cheang-Martinez // *Proceeding of CERMA '07*. – Washington, DC USA. – 2007. – P. 210–217.
5. Петров, В. В. Расчёт элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой / В. В. Петров, И. Г. Овчинников, Ю. М. Шихов. – Саратов : Сарат. ун-т, 1987. – 288 с.
6. Зеленцов, Д. Г. Расчёт конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы / Д. Г. Зеленцов. – Днепропетровск : УГХТУ, 2002. – 168 с.
7. Долинский, В. М. Расчет элементов конструкций, подверженных равномерной коррозии / В. М. Долинский // *Исследования по теории оболочек*. – 1976. – Вып. 7. – С. 37–42.
8. Гутман, Э. М. Механохимия металлов и защита от коррозии : научное издание / Э. М. Гутман. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Металлургия, 1981. – 270 с.
9. Овчинников, И. Г. К определению напряжённо-деформированного состояния и долговечности цилиндрических оболочек с учётом коррозионного износа / И. Г. Овчинников, Х. А. Сабитов // *Строительная механика и расчёт сооружений*. – 1986. – № 1. – С. 13–17.
10. Зеленцов, Д. Г. Обґрунтування вибору математичних моделей, які описують процес корозії під напругою в металевих елементах конструкцій / Д. Г. Зеленцов, Т. С. Казанцева // *Вопросы химии и химической технологии*. – 2003. – № 2. – С. 146–148.
11. Зеленцов, Д. Г. Напіваналітичні алгоритми розв'язання систем диференціальних рівнянь у задачах довговічності кородуючих конструкцій / Д. Г. Зеленцов, Н. Ю. Науменко // *Промислове будівництво та інженерні споруди*. – 2008. – № 4. – С. 14–18.
12. Haykin, S. S. *Neural networks: a comprehensive foundation* / S. S. Haykin. – City : Prentice Hall, 1999.
13. Callan, Robert. *The Essence of Neural Networks* / Callan Robert. – Prentice Hall Europe, 1999.
4. Cheang-Martinez, A. *Corrosion prediction and annual maintenance improvement of concrete structural components using neural networks* / A. Cheang-Martinez // *Proceeding of CERMA '07*. Washington: DC USA, 2007, p. 210–217.
5. Petrov, V. V.; Ovchinnikov, I. G.; Shihov, Yu. M. *Analysis of structure components interacting with the corrosive medium*. Saratov: Saratov Univ., 1987. 288 p. (in Russian)
6. Zelentsov, D. G. *Analysis of the structures with the geometry changing in the corrosive media. Framed structures*. Dnepropetrovsk: USChTU, 2002. 168 p. (in Russian)
7. Dolinsky, V. M. *Analysis of structure components undergoing a uniform corrosion. Researches in the theory of shells*, 1976, Vol. 7, p. 37–42. (in Russian)
8. Gutman, E. M. *Mechanochemistry of metals and corrosion protection: Research issue*. 2nd edition, revised and supplemented. Moscow: Metallurgii, 1981. 270 p. (in Russian)
9. Ovchinnikov, I. G.; Sabitov, Kh. A. *To the determination of the mode of deformation and durability of cylindrical shells regarding the corrosive wear. Structural mechanics and analysis of structure*, 1986, No. 1, p. 13–17. (in Russian)
10. Zelentsov, D. G.; Kazantseva, T. S. *Substantiation of selecting mathematical models which represent the corrosion under stress in the metal components of the structures. Issues of chemistry and chemical technology*, 2003, No. 2, p. 146–148. (in Ukrainian)
11. Zelentsov, D. G.; Naumenko, N. Yu. *Semianalytical algorithms of solving the systems of the differential equations in the problems on durability of corrosive structures. Industrial engineering and engineering structures*, 2008, No. 4, p. 14–18. (in Ukrainian)
12. Haykin, S. S. *Neural networks: a comprehensive foundation*. City: Prentice Hall, 1999.
13. Callan, Robert. *The Essence of Neural Networks*. Prentice Hall Europe, 1999.

**Зеленцов Дмитро Гегемонович** – д.т.н., проф., с.н.с. є завідувачем кафедри комп'ютерних технологій та вищої математики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет». Наукові інтереси: будівельна механіка, кородуючі конструкції, оптимальне проектування, математичне моделювання, використання методу скінчених елементів, чисельні методи, штучний інтелект, нейронні мережі, генетичні алгоритми, нечіткі множини.

**Радуть Олександр Анатолійович** – аспірант кафедри комп'ютерних технологій та вищої математики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет». Наукові інтереси: будівельна механіка, кородуючі конструкції, оптимальне проектування, математичне моделювання, чисельні методи, штучні нейронні мережі, інтелектуальні системи.

**Зеленцов Дмитрий Гегемонович** – д.т.н., проф., с.н.с. является заведующим кафедрой компьютерных технологий и высшей математики ГБУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет». Научные интересы: строительная механика корродирующих конструкций, оптимальное проектирование, математическое моделирование, использование метода конечных элементов, численные методы, искусственный интеллект, нейронные сети, генетические алгоритмы, нечеткие множества.

**Радуль Александр Анатольевич** – аспирант кафедры компьютерных технологий и высшей математики ГБУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет». Научные интересы: строительная механика, корродирующие конструкции, оптимальное проектирование, математическое моделирование, численные методы, искусственные нейронные сети, интеллектуальные системы.

**Zelentsov Dmytro** – D.Sc. (Eng.), a Professor, the Chair of the Computer Technologies and Higher Mathematics Department of the Ukrainian State University of Chemical Engineering. Research interests: structural mechanics of corroding constructions, optimum designing, mathematical simulation, application of the method of finite elements, numerical methods, artificial intelligence, neural networks, genetic algorithms, fuzzy sets.

**Radul Oleksandr** – a postgraduate of the Computer Technologies and Higher Mathematics Department of the Ukrainian State University of Chemical Engineering. Research interests: structural mechanics, corroding constructions, optimum designing, mathematical simulation, numerical methods, artificial neural networks, intellectual systems.