

10. Дудников, И. А. Влияние вибрационной обработки на упрочнение обрабатываемой поверхности [Текст] / И. А. Дудников, А. И. Беловод, А. А. Дудников и др. // Вибрации в технике и технологиях. — 2010. — № 1(57). — С. 92–93.

*Abstract. The paper deals with analyzing the methods for improving the durability of parts and service life of tillage machines operating in extremely severe conditions (tillage).*

*The features of described in literature methods for hardening separate parts of agricultural machinery, used mainly in industrial production, are considered.*

*Methods for repairing working elements of tillage machines are listed. As a rule they are characterized by a high complexity of technological process, the need for expensive equipment, high cost of repaired parts and they have not yet found a wide use in agricultural repair production. Some aspects of increasing the durability of working elements of tillage machines, particularly hoes, are shown.*

*The principle of more effective method for parts repair, using vibrations of processing tool for developing and applying technological process of hardening the working elements of tillage machines, is considered.*

*The necessity of theoretical and practical research for determining the operating parameters of vibration hardening of hoes surface is shown.*

*Keywords: hardening method, vibration treatment, technological process, service life, durability.*

УДК 004.8

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РАСЧЕТА ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОРРОДИРУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

**Зеленцов Дмитрий Геннадиевич**, доктор технических наук, профессор

Кафедра компьютерных технологий и высшей математики, ВГУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, Украина 49005

**Контактный тел.:** (0562) 47-24-64

**Гаврилюк Юрий Владимирович**

Аспирант, кафедра компьютерных технологий и высшей математики, ВГУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, Украина 49005

**Контактный тел.:** 097-486-44-10

**E-mail:** yuragavriluk@gmail.com

**Новикова Людмила Владимировна**

Ассистент, кафедра компьютерных технологий и высшей математики, ВГУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, Украина 49005

**Контактный тел.:** (0562) 47-24-64

*Запропоновано алгоритм розрахунку довговічності балочних стержневих елементів, під впливом корозійного зносу. На відміну від вже існуючих, даний алгоритм передбачає визначення типу активних обмежень, визначаючих довговічність елементів, до вирішення задачі, використовуючи апріорну інформацію о геометричних властивостях перетину, величини навантаження і параметрів агресивної середовища. Апріорні значення формалізуються у вигляді нейронної мережі з дискретною функцією активації вихідного елемента.*

*Ключеві слова: кородуючі конструкції, довговічність, нейронні мережі, генетичні алгоритми.*

*Предлагается алгоритм расчета долговечности балочных стержневых элементов, подверженных коррозионному износу. В отличие от существующих, данный алгоритм предполагает определение вида активных ограничений, определяющих долговечность элементов, до решения задачи, используя априорную информацию о геометрических характеристиках сечения, величины нагрузки и параметров агрессивной среды. Априорные знания формализуются в виде нейронной сети с дискретной функцией активации выходного элемента.*

*Ключевые слова: корродирующие конструкции, долговечность, нейронные сети, генетические алгоритмы.*

## 1. Введение

При решении задач расчета долговечности корродирующих конструкций нередко встречаются ситуации, когда возможны несколько различных вариантов истощения несущей способности того или иного конструктивного элемента. В частности, в зависимости от конкретных размеров элемента, величины нагрузки и параметров агрессивной среды, разрушение изгибаемой балки может определяться ограничениями по прочности или сплошности сечения, сжатого стержня — ограничениями по устойчивости, прочности или сплошности сечения. Подобные случаи достаточно подробно рассмотрены, например, в [1, 2]. При этом вид активного ограничения заранее не известен и определяется в процессе решения задачи, что приводит к усложнению алгоритма решения и снижению его эффективности и надежности программных средств реализации. Проблема определения вида активного ограничения становится достаточно актуальной при решении задач оптимального проектирования корродирующих конструкций. В этом случае вычисление функций ограничений предполагает, как правило, определение долговечности оптимизируемой конструкции [3–5]. В данной статье предлагается определять вид активного ограничения до решения задачи расчета долговечности, основываясь на уже имеющейся информации о зависимости вида разрушения элемента от вышеперечисленных факторов, то есть, используя априорные знания, формализованные в виде искусственных нейронных сетей.

## 2. Постановка задачи

Рассмотрим балку двутаврового профиля, которая функционирует в агрессивной среде, вызывающей коррозионный износ. В качестве модели накопления геометрических повреждений примем модель вида [6, 7]:

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

где  $\delta$  — глубина коррозионного поражения;  $v_0$  — скорость коррозии при отсутствии напряжений;  $\sigma$  — абсолютное значение напряжения;  $k$  — коэффициент, учитывающий влияние напряжения на скорость коррозии;  $t$  — время.

Выражение для момента инерции сечения с учетом изменения его формы (рис. 1) в произвольный момент времени [1, 2] может быть записано следующим образом:

$$I(t) = \frac{1}{12} \left( B_0 - \frac{\delta_0 - 3\delta_2}{2} \right) \times \\ \times \left( (H_0 - 2\delta_2)^3 - (H_0 - 2T_0 + 2\delta_1)^3 \right) + \\ + \frac{1}{12} \left( D_0 - \frac{\delta_0 - 3\delta_1}{2} \right) (H_0 - 2T_0 + 2\delta_1)^3. \quad (2)$$

С учетом (1), изменение размеров и формы сечения с течением времени может быть описано системой дифференциальных уравнений (СДУ) вида:

$$\begin{cases} \frac{d\delta_1}{dt} = v_0 (1 + k\sigma_1(t)); \\ \frac{d\delta_2}{dt} = v_0 (1 + k\sigma_2(t)), \end{cases} \quad (3)$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  — значения напряжений на нижней и верхней плоскостях полков.

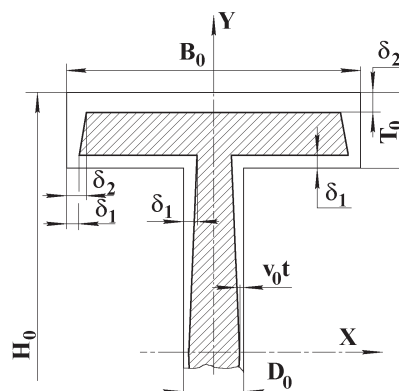


Рис. 1. Форма и размеры двутаврового сечения в произвольный момент времени (по осям  $X$  и  $Y$  обозначена длина)

Предельное состояние элемента при чистом изгибе может определяться, с одной стороны, моментом времени  $t^*$ , когда напряжение в наиболее нагруженном сечении достигнет предельно допустимого значения  $R$ :

$$\frac{M_{\max}}{W(t^*)} = R. \quad (4)$$

Здесь  $W(t^*)$  — момент сопротивления сечения в момент разрушения;  $M_{\max}$  — наибольшее значение изгибающего момента.

С другой стороны, возможна ситуация, когда стойка двутавра полностью прокорродирует в местах соединения с полками, то есть, когда нарушится условие сплошности сечения:

$$2\delta_1(t^*) \cdot n = D_0, \quad (5)$$

где  $n$  — некоторый коэффициент ( $n < 1$ ), назначаемый исходя из конструктивных, технологических или иных соображений.

## 3. Алгоритм решения

Известные алгоритмы решения задачи расчета долговечности предполагали численное решение задачи Коши для системы (3) с начальными условиями:  $\delta_1(0) = \delta_2(0) = 0$ . На каждой итерации проверялось выполнение условий (4) и (5). В слу-

чае выполнения какого-либо из них, например, условия прочности (рис. 2), происходило уточнение результата с использованием линейной или квадратичной аппроксимации зависимости напряжение — время. При этом использовались значения текущих значений напряжений в моменты времени  $t_{n-1}, t_n, t_{n+1}$ . Аналогично, при активных ограничениях по сплошности сечения используется информация о значениях глубины коррозии в эти же моменты времени.

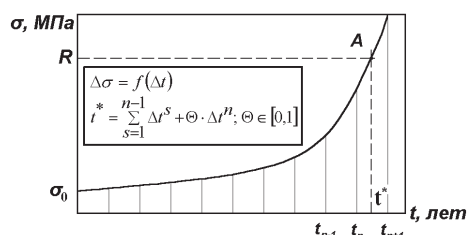


Рис. 2. Графическая иллюстрация алгоритма расчета долговечности  $t(\sigma)$

До настоящего времени вид активных ограничений определялся в процессе решения задачи. Параметр  $\Delta t$  при численном решении СДУ (3) принимался одинаковым, независимо от вида активного ограничения. Это приводило к избыточным итерациям при активных ограничениях по сплошности сечения и не всегда обеспечивало требуемую точность решения при активных ограничениях по прочности. Для повышения эффективности вычислительного алгоритма и упрощения его логики представляется целесообразным определить вид активного ограничения до решения задачи расчета долговечности. Это предполагает формализацию априорных знаний о влиянии геометрических характеристиках сечения, величины нагрузки и параметров агрессивной среды на вид активного ограничения в виде искусственной нейронной сети с дискретной функцией активации выходного элемента [8, 9].

#### 4. Описание нейронной сети

Для определения вида активного ограничения в зависимости от параметров агрессивной среды, размеров сечения и величин начального и предельно допустимого напряжений может быть использована нейронная сеть (рис. 3) с пороговой функцией активации выходного элемента [8]. Входными параметрами сети являются: обобщенный параметр  $N$ , определяющий тип (двутавр, швеллер) и типоразмер сечения и принимающий дискретные значения на интервале  $[0; 1]$ ;  $v_0$  и  $\sigma_0$  — нормированные значения скорости коррозии и начального напряжения в опасной точке сечения. Функция активации скрытого слоя — логистическая.

Геометрические размеры сечений могут принимать только строго заданные значения, которые могут быть определены через параметр  $N$  следующим образом:

$$x(i) = M(n, i), \tag{6}$$

где  $x(i)$  — элемент вектора геометрических размеров сечения  $\bar{x} = [H_0, B_0, D_0, T_0]$ ;  $M$  — матрица размеров сечения;  $n$  — номер строки, определяемый параметром  $N$  ( $n = \text{int}(10 \cdot N)$ ).

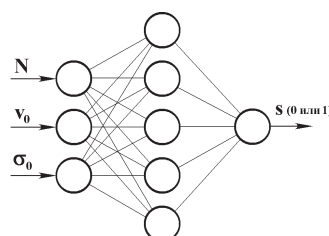


Рис. 3. Архитектура нейронной сети

Обучение нейронной сети производилось с использованием вещественного генетического алгоритма [10]. Согласно рекомендациям, приведенным в [8], количество обучающих образцов принималось равным 2500, количество тестовых образцов — 1000. При этом погрешность сети  $\epsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |s_i - y_i|$  не превышала 0,008.

#### 5. Численная иллюстрация

Для численной иллюстрации предложенного алгоритма решения задачи с использованием нейронной сети рассматривалась балка стандартного двутаврового профиля № 10 с размерами сечения:  $H_0 = 10,0$  см;  $B_0 = 5,5$  см;  $D_0 = 0,45$  см;  $T_0 = 0,72$  см. Задача Коши решалась методом Эйлера с шагом  $\Delta t = 0,025$  года для ограничения по прочности, и  $\Delta t = 0,1$  года для ограничения по сплошности сечения.

На рис. 4 показаны кривые роста во времени напряжений на полках двутавра для различных значений величины изгибающего момента. Графики построены для следующих значениях параметров агрессивной среды:  $v_0 = 0,125$  см/год;  $k = 0,003$  МПа $^{-1}$ . Долговечность балки определяется ограничениями как по прочности (для  $M = 40000$  и  $50000$  кг · см), так и по сплошности сечения ( $M = 20000$  и  $30000$  кг · см).

Зависимость долговечности балки от величины изгибающего момента для различных значений параметра  $v_0$  показана на рис. 5. Точка излома графиков соответствует значению момента  $M^*$ , когда активны оба ограничения. При  $M < M^*$  долговечность конструкции определяется ограничениями по сплошности сечения; при  $M > M^*$  — ограничениями по прочности. Значение коэффициента в формуле (5) принималось  $n = 0,95$ .

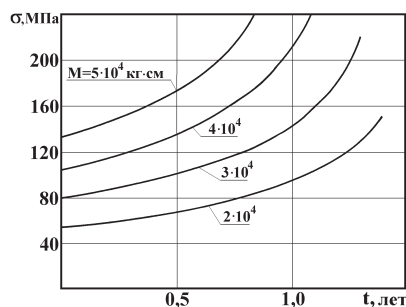


Рис. 4. Изменение напряжений на полках двутавра  $t(\sigma)$

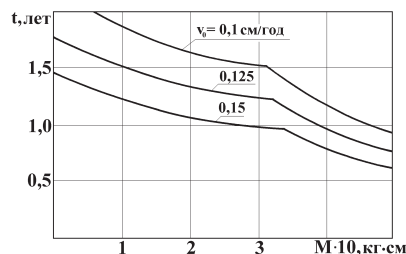


Рис. 5. Зависимость долговечности балки от величины изгибающего момента  $t(v_0)$

Результаты решения задачи практически полностью совпадают с результатами, приведенными в [1, 7], что подтверждает правильность вывода нейронной сети. Все ошибки вывода сети лежат в окрестностях точек излома графиков. В этом случае результат ошибки определения вида активного ограничения имеет тот же порядок, что и погрешность численного решения методом Эйлера.

## 6. Выводы

Использование нейронной сети в алгоритме расчета долговечности корродирующих балок позволяет значительно упростить логику алгоритма и избежать ошибок расчетов, связанных с неверным определением вида активного ограничения. В то же время, увеличение шага интегрирования при активных ограничениях по сплошности сечения позволяет повысить эффективность алгоритма.

## Литература

1. Зеленцов, Д. Г. Расчет конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы [Текст] / Д. Г. Зеленцов. — Днепропетровск: УГХТУ, 2002. — 168 с.
2. Зеленцов, Д. Г. Информационное обеспечение расчетов корродирующих объектов. Математические модели и концепция проектирования систем [Текст] / Д. Г. Зеленцов, О. А. Ляшенко, Н. Ю. Науменко. — Днепропетровск: УГХТУ, 2012. — 264 с.
3. Зеленцов, Д. Г. Обзор исследований по применению методов нелинейного математического программирования к оптимальному проектированию конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой [Текст] / Д. Г. Зеленцов, Г. В. Филатов // Вопросы химии и химической технологии. — 2002. — № 4. — С. 108–115.
4. Зеленцов, Д. Г. Модели и методы решения задач весовой оптимизации корродирующих конструкций [Текст]: тези доповідей міжнародної науково-методичної конференції / Д. Г. Зеленцов, Н. Ю. Науменко // Проблеми математичного моделювання. — Дніпродзержинськ, 2005. — С. 64.
5. Зеленцов, Д. Г. Новые модели решения задач весовой оптимизации корродирующих изгибаемых стержневых элементов [Текст] / Д. Г. Зеленцов, Т. Ю. Ускова // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Вип. 1(42). — Дніпропетровськ, 2006. — С. 23–32.
6. Долинский, В. М. Расчет нагруженных труб, подверженных коррозии [Текст] / В. М. Долинский // Химическое и нефтяное машиностроение. — 1967. — № 2. — С. 9–10.
7. Zelentsov, D. G. Models of optimization of bending bars elements, subjected to corrosion wear, in view of form of section [Текст] / D. G. Zelentsov, Yu. M. Pochtman // XIV Polish Conference on Computer Methods in Mechanics. — Rzeszow, 1999. — pp. 411–412.
8. Callan, R. The Essence of Neural Networks [Текст] / R. Callan. — Prentice Hall Europe, 1999. — 232 p.
9. Haykin, S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation [Текст] / S. Haykin. — Prentice Hall, Inc., 1999. — 1104 p.
10. Емельянов, В. В. Теория и практика эволюционного моделирования [Текст] / В. В. Емельянов, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 456 с.

*Abstract. The algorithm for calculating the durability of beam rod elements, subjected to corrosive wear, is proposed. It is assumed that the type of constraint, that determines the limit state of the element, is unknown beforehand. Previously the type of active constraint was defined in the process of problem-solving, which significantly complicated the computational algorithm and reduced its effectiveness. The paper proposes to determine the type of active constraint before the problem-solving, using the information on geometric features of cross-section, load intensity and corrosive medium parameters. This implies formalizing a priori knowledge in the form of an artificial neural network with discrete function of the output element activation.*

*The corroding I-beam is considered in the paper as the object of research. During the simulation of corrosion process it is taken into account that mechanical stresses cause its substantial acceleration. In this case, the limit state of the beam element can be defined under the constraints of strength and continuity of the cross-section. The neural network with a threshold activation function was used for determining the type of active constraints. Training the neural network was carried out using a genetic algorithm.*

*Keywords: corroding structures, durability, neural networks, genetic algorithms.*