

УДК 624:620.193

Д.Г. Зеленцов¹, д-р техн. наук, проф.,
А.П. Иванова², канд. техн. наук, доц.

1 – Государственное высшее учебное заведение „Украинский государственный химико-технологический университет“, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: dmyt_zel@mail.ru
2 – Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ РАСЧЁТА ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОРРОДИРУЮЩИХ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

D.G. Zelentsov¹, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
A.P. Ivanova², Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

1 – Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: dmyt_zel@mail.ru
2 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: shivatro@yandex.ru

APPLICATION OF NEURONETWORK MODELS FOR SOLVING TASKS OF DURABILITY PREDICTION OF CORRODIBLE BEAM CONSTRUCTIONS

Цель. Разработка новых моделей процесса деформирования корродирующих балочных конструкций с изменяющимися геометрическими характеристиками и эффективных численных алгоритмов решения задач напряженно-деформированного состояния (НДС) и долговечности таких конструкций.

Методика. Проанализированы причины, приводящие к аварийному разрушению многоэлементных металлических конструкций. Рассмотрены методы исследования и расчета конструкций с учетом дефектности материала. Основу исследований составляет моделирование поведения элементов балочных конструкций, которые подвергаются воздействию квазистатических, циклических и случайных нагрузок, эксплуатирующихся в агрессивных условиях. Уделено внимание влиянию вида деформации на коррозионный износ элементов таких конструкций и возможность их безаварийной эксплуатации.

Результаты. С использованием новых моделей корродирующей поверхности построен модифицированный балочный конечный элемент с переменной жесткостью, что позволит учесть изменение формы сечения, вызванное агрессивной средой, и снизить как размерность задачи метода конечных элементов (МКЭ), так и размерность системы дифференциальных уравнений (СДУ), описывающих коррозионный процесс. Выражения для элементов матрицы жесткости таких конечных элементов (КЭ) не зависят от вида поперечного сечения, если его можно представить в виде совокупности прямоугольных фрагментов. Для повышения эффективности вычислительного алгоритма и упрощения его логики целесообразно определить вид активного ограничения до решения задачи расчета долговечности. Предлагается использовать две нейронные сети: для определения вида ограничения (1-я нейронная сеть) и параметров численного решения СДУ для каждого из ограничений (2-я нейронная сеть).

На основании анализа факторов, влияющих как на вид активного ограничения, так и на точность решения СДУ, входными параметрами сетей приняты: номер прокатного профиля, скорость коррозии и начальное напряжение. Вид ограничения определяется нейронной сетью с пороговой функцией активации выходного элемента, рациональное значение параметра численного решения – сетью с сигмоидальной функцией активации. Обучение нейронных сетей осуществлялось с помощью генетического алгоритма и алгоритма обратного распространения ошибки.

Научная новизна. Усовершенствована модель корродирующей поверхности, на основании которой построена матрица жесткости для модифицированного балочного КЭ переменной жесткости. Построен модифицированный балочный КЭ с переменной жесткостью. Рациональные параметры численных процедур определены с применением нейронных сетей, что позволяет получить решение с погрешностью, не превышающей предельно допустимую величину с минимальными вычислительными затратами.

Практическое значение. Повышение эффективности решения задач НДС и долговечности корродирующих балочных элементов металлоконструкций.

Ключевые слова: модель, коррозионный износ, напряжение, балочный конечный элемент, параметр поврежденности, нейронная сеть, прочность

Актуальность работы. Балочные и стержневые элементы широко применяются в металлоконструкциях. Например, в металлоконструкциях шахтных копров, путепроводов, морских стационарных платформ, антенно-мачтовых конструкций и других уникальных ответственных сооружений.

Такие конструкции подвергаются воздействию квазистатических, циклических, динамических и случайных нагрузок, они эксплуатируются в условиях коррозионных сред, испытывают влияние перепада температур. Воздействие агрессивной среды приводит к возникновению наведенной (изменяющейся во времени) неоднородности геометрических и, в некоторых случаях, механических свойств по области конструкции.

Таким образом, обеспечение надежности и долговечности уже возведенных строительных конструкций является одним из приоритетных направлений современного строительства и достигается, в том числе, повышением степени их защищенности от воздействия агрессивной среды.

Анализ исследований и публикаций. Методы исследования и расчета конструкций с учетом дефектности материала развиваются и совершенствуются [1]. Применительно к металлическим конструкциям, понятие „дефектность материала“ напрямую связано с коррозионным износом, который приводит к отказу отдельных элементов конструкций [2]. Именно локальные повреждения (выход из строя одного из элементов или одной связи) иногда влекут за собой потерю несущей способности всей конструкции, а если элемент является основным и несущим, то может разрушиться весь объект. Обработка данных по аварийным разрушениям металлоконструкций в Украине и за рубежом представлена в табл. 1.

Таблица 1

Причины разрушения металлоконструкций

№ п/п	Причины разрушения	%
1	Влияние условий эксплуатации	60
2	Влияние человеческого фактора	19
3	Разрушение отдельных элементов конструкции	10
4	Внезапные воздействия (терракты, пожары, землетрясения)	8
5	Причина неопределена	3

Анализ данных позволяет сделать вывод, что именно коррозия является одним из наиболее весомых факторов, вызывающих разрушение металлоконструкций.

Постановка проблемы. Существующие подходы к решению задач прогнозирования долговечности корродирующих балочных элементов металлоконструкций, испытывающих деформацию изгиба, имеют ряд недостатков, а именно:

- использование упрощенных моделей корродирующей поверхности (описание кусочно-непрерывными функциями) приводит к увеличению размерности задачи метода конечных элементов (МКЭ) и размерности системы дифференциальных уравнений (СДУ), описывающих коррозионный процесс;

- размерность СДУ, использующей традиционные модели коррозионной поверхности, является многопараметрической, что приводит к снижению ее эффективности;

- существует проблема точности решения, так как отсутствуют обоснованные рекомендации по выбору параметров численных процедур;

- ни один из существующих „тяжелых“ программных комплексов (Ansys, Abaqus, Robot) не позволяет корректно решать задачи такого класса.

Перечисленные проблемы становятся более актуальными при прогнозировании безаварийной работы корродирующих конструкций, когда задача долговечности решается на каждой итерации поиска оптимального решения. В этом случае вычислительные затраты могут оказаться неоправданно высокими, а точность решения не обеспечена.

Авторами предлагаются следующие способы повышения эффективности решения таких задач:

- усовершенствование модели корродирующей поверхности, на основании которой будет строиться матрица жесткости для модифицированного балочного конечного элемента (КЭ) переменной жесткости;

- снижение размерности СДУ, описывающей изменение геометрических характеристик конструкции во времени;

- определение рациональных параметров численных процедур, то есть таких параметров, при которых решение получается с погрешностью, не превышающей заданную величину.

Изложение основного материала. В качестве модели коррозионного износа балки принимаем модель Долинского [3]

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

где δ – глубина коррозионного поражения; v_0 – скорость коррозии при отсутствии напряжений (химическая составляющая коррозионного процесса); σ – абсолютное значение эквивалентного напряжения; k – коэффициент, учитывающий влияние напряжения на скорость коррозии.

На размерность СДУ большое влияние оказывает неравномерность поля напряжений по области конструкции. В известных алгоритмах расчета балочных конструкций, использующих МКЭ, напряжения считаются постоянными по длине КЭ и вычисляются в его центре тяжести. Следовательно, для точного моделирования процесса коррозии необходимо увеличивать количество КЭ, что приводит к увеличению размерности задачи.

Построение модифицированного балочного КЭ с переменной жесткостью позволит учесть изменение формы сечения при эксплуатации в агрессивной среде и снизить размерность задачи. Рассмотрим элемент изгибаемой балки двутаврового поперечного сечения (рис. 1).

Примем следующее допущение: изменение изгибающего момента по длине элемента – линейное. В этом случае закон изменения глубины коррозии запишем в виде

$$\delta_1(x) = \delta_1^n + \frac{x}{l}(\delta_1^n - \delta_1^l);$$

$$\delta_2(x) = \delta_2^n + \frac{x}{l}(\delta_2^n - \delta_2^l),$$

(1)

где δ_1 и δ_2 – значения глубин коррозии в узлах 1 и 2; индекс „ l “ соответствует узлу 1, а индекс „ n “ – узлу 2.

На рис. 2 показаны первоначальные размеры двутавра и их изменение вследствие коррозии в течение некоторого времени (v_0t).

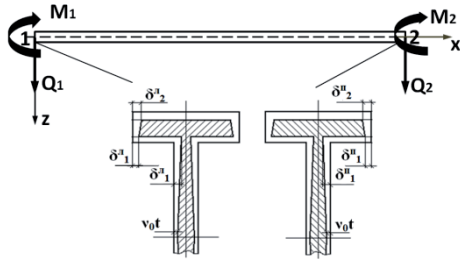


Рис.1. Конечный элемент изгибаемой балки двутаврового сечения с 4-мя степенями свободы: M_1, M_2 – изгибающие моменты в узлах 1 и 2 соответственно; Q_1, Q_2 – поперечная сила в узлах 1 и 2; δ_1 и δ_2 – значения глубин коррозии в узлах 1 и 2, индекс „ l “ соответствует узлу 1, а индекс „ n “ – узлу 2

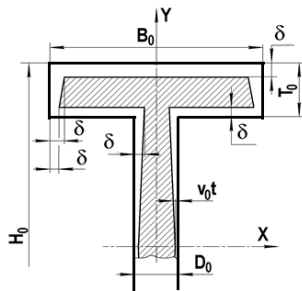


Рис.2. Двутавровое сечение балки: B_0, T_0, D_0, H_0 первоначальные размеры сечения; v_0t – коррозия в течение времени

Учитывая рис. 2, введем следующие обозначения

$$\delta_0 = v_0t;$$

$$d_1(t) = \frac{\delta_1^n(t) - \delta_1^l(t)}{2l}; \quad d_2(t) = \frac{\delta_2^n(t) - \delta_2^l(t)}{2l};$$

$$H(t) = H_0 - 2\delta_2^l; \quad B(t) = B_0 - \frac{\delta_0 - 3\delta_2^l}{2};$$

$$D(t) = D_0 - \frac{\delta_0 - 3\delta_1^l}{2}; \quad G(t) = H_0 - 2T_0 + 2\delta_1^l.$$

С учетом этих обозначений получаем выражение для момента инерции двутаврового сечения, как функции координаты и времени

$$I(x, t) = \frac{1}{12}(B - 3d_2x) \cdot [(H - 4d_2x)^3 - (G + 4d_1x)^3] + \frac{1}{12}(D - 3d_1x) \cdot (G + 4d_1x)^3. \quad (2)$$

Представим выражение (2) в виде полинома четвертой степени

$$I(x, t) = I_0 + Ax + Bx^2 + Cx^3 + Dx^4, \quad (3)$$

где

$$I_0 = \frac{1}{12}[B(t) \cdot (H(t)^3 - G(t)^3) + G(t)^3 D(t)];$$

$$A = -B(t) \cdot (H(t)^2 \cdot d_2 + G(t)^2 \cdot d_1) - \frac{1}{4}d_2 \cdot (H(t)^3 - G(t)^3) + G(t)^2 \cdot d_1 \cdot D(t) - \frac{1}{4}d_1 \cdot G(t)^3;$$

$$B = 4B(t) \cdot (H(t) \cdot d_2^2 + G(t) \cdot d_1^2) + 3d_2 \cdot (H(t)^2 \cdot d_2 + G(t)^2 \cdot d_1) + 4G(t) \cdot d_1^2 \cdot D(t) - 3d_1^2 \cdot G(t)^2;$$

$$C = -\frac{16}{3}B(t) \cdot (d_2^3 + d_1^3) - 12d_2 \cdot (H(t) \cdot d_2^2 - G(t) \cdot d_1^2) + \frac{16}{3}d_1^3 \cdot D(t) - 12d_1^3 \cdot G(t);$$

$$D = 16 \cdot [d_2(d_2^3 + d_1^3) - d_1^4].$$

Дальнейшая процедура построения элементов матрицы жесткости аналогична описанной в [4].

Следует отметить, что выражения для элементов матрицы жесткости балочного КЭ переменной жесткости не зависят от вида поперечного сечения, если его можно представить в виде совокупности прямоугольных фрагментов.

Поведение корродирующих конструкций может быть исследовано путём численного решения задачи Коши для СДУ (4), описывающих процесс коррозии в их элементах

$$\frac{dA}{dt} = \Psi[\sigma(A)]; \quad A|_{t=0} = A_0, \quad (4)$$

где A – элемент матрицы $[A]_{m \times N}$ изменяющихся параметров КЭ; Ψ – некоторая функция напряжений; N – размерность задачи МКЭ; n – количество параметров, определяющих геометрические размеры элемента.

Численное решение задачи Коши

$$A_{ij}^s = A_{ij}^{s-1} + \Delta t^s \left[(1 - \omega) \cdot \Psi_{ij} + \omega \cdot \left(\Psi_{ij} + \frac{\Delta t^s}{2\omega} \Psi_{ij} \right) \right];$$

$$i = \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, n}.$$

От точности решения СДУ (4) зависит точность решения задачи в целом, поэтому проблема выбора параметров численных процедур при одновременном соблюдении требований эффективности приобретает самостоятельное значение.

Точность решения СДУ при использовании какого-либо численного метода зависит как от параметров вычислительной процедуры, так и от параметров конструкции (геометрических размеров, характеристик сечений элементов, уровня нагружения). При изменении параметров конструкции и постоянных параметрах вычислительной процедуры точность решения будет меняться. Обеспечить необходимую точность расчетов для всех возможных параметров конструкции и агрес-

сивной среды можно аппроксимировать зависимость между ними и параметрами численного решения.

Характер некоторых параметров конструкции (тип и типоразмер элементов) не позволяет использовать для решения данной задачи аппроксимацию степенными рядами. Для ее успешного решения необходима формализация этих зависимостей. По мнению авторов, наиболее рациональным способом такой формализации является применение искусственных нейронных сетей.

Схему решения задачи можно представить следующим образом (рис. 3). В данной схеме:

- блок (А) является модулем решения задачи напряженно-деформированного состояния (НДС), в результате чего формируется вектор напряжений в элементах конструкции;

- блок (В) определяет, с использованием нейронной сети 1, какие именно ограничения (о них будет сказано ниже) вступают в силу;

- блоки (С) определяют, с использованием нейронной сети 2, параметры численного решения СДУ (4) для каждого из ограничений. На основании информации о геометрических характеристиках сечения элемента, начальных напряжений в нем, скорости коррозии и заданной точности, определяется значение шага интегрирования, которое обеспечивает заданную точность.

- блоки (Д) и (А) выполняют решение задачи Коши для СДУ (4).

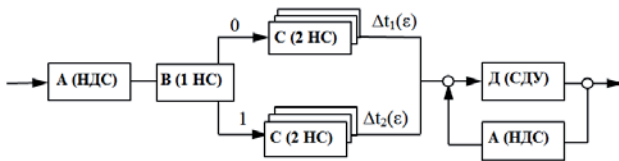


Рис.3. Схема решения задачи: блок (А) – модуль решения задачи НДС; блок (В) определяет вид вступающих в силу ограничений (по прочности или по сплошности сечения); блоки (С) определяют параметры численного решения системы дифференциальных уравнений для каждого из ограничений; блоки (Д), (А) выполняют решение задачи Коши для системы дифференциальных уравнений (4)

Балочные конструкций изготавливаются, как правило, из стандартных прокатных профилей, для которых учитываются следующие их особенности:

- коэффициент слитности сечения (отношение периметра к площади) значительно выше, чем у стержневой кольцевой сечения с той же площадью, что приводит к увеличению скорости роста напряжений;

- сечения прокатных профилей предполагают возможность разрушения элемента вследствие нарушения его сплошности.

До настоящего времени вид активных ограничений определялся в процессе решения задачи (рис.3), поэтому параметры численного решения СДУ выбирались независимо от вида активного ограничения. Это приводило к избыточным итерациям и не всегда обеспечивало требуемую точность решения. Для повышения эффективности вычислительного алгоритма и упрощения

его логики целесообразно определить вид активного ограничения до решения задачи расчёта долговечности. Авторами предлагается использовать две нейронные сети: для определения вида ограничения (рис.4, а) и параметров численного решения СДУ для каждого из ограничений (рис.4, б).

На основании анализа факторов, влияющих как на вид активного ограничения, так и на точность решения СДУ, входными параметрами сетей приняты: номер прокатного профиля N , скорость коррозии v_0 и начальное напряжение σ_0 . Вид ограничения („0“ – по сплошности и „1“ – по прочности) определяется нейронной сетью с пороговой функцией активации выходного элемента, рациональное значение параметра численного решения Δt – сетью с сигмоидальной функцией. Обучение нейронных сетей осуществлялось с помощью генетического алгоритма и алгоритма обратного распространения ошибки.

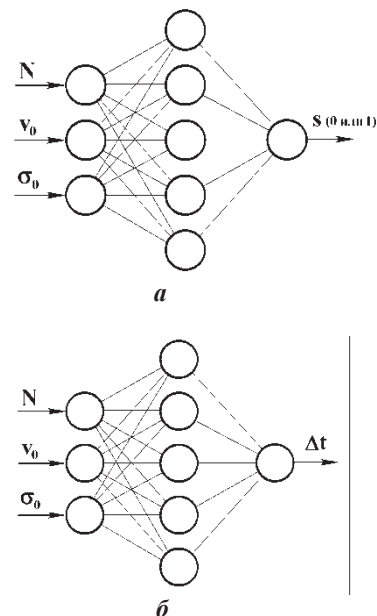


Рис.4. Архитектура нейронных сетей: N – номер прокатного профиля; v_0 – скорость коррозии; σ_0 – начальное напряжение; S – вид ограничения; Δt – рациональное значение параметра численного решения

Численная иллюстрация и анализ результатов.

В качестве модельной предлагается решение задачи НДС и долговечности статически неопределимой двутавровой балки (рис.5), нагруженной сосредоточенной силой Q и изгибающим моментом M , которая находится в агрессивной среде.

Расчетные данные: $M = 50000 \text{ Н}\cdot\text{см}$; $Q = 5000 \text{ Н}$; $E = 2,1 \times 10^5 \text{ МПа}$; $[\sigma] = 240 \text{ МПа}$; $v_0 = 0,1 \text{ см/год}$; $k = 0,003 \text{ МПа}^{-1}$.

Для сравнения (таб. 2) использовалась модель корродирующего сечения, представляющая собой набор полос, то есть кусочно-непрерывная аппроксимация поперечного сечения (рис. 6).

Долговечность двутавровой балки для различных видов аппроксимации сечения и типов КЭ показана в табл. 2.

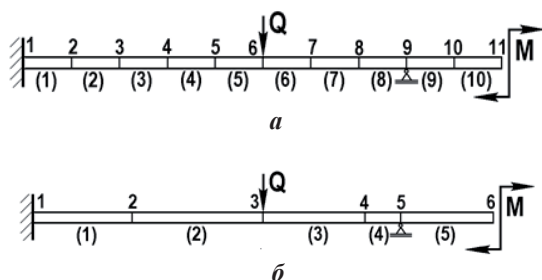


Рис. 5. Конечно-элементная модель статически неопределимой двутавровой балки

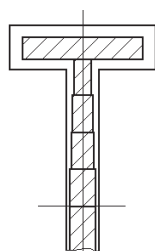


Рис. 6. Кусочно-непрерывная аппроксимация двутаврового поперечного сечения

Таблица 2
Долговечность двутавровой балки

Аппроксимация Тип КЭ	Число КЭ	Двутавр	
		Размерность задачи МКЭ	t*, лет (ε, %)
Кусочно-непр. КЭ пост. жест.	10	200	1,95 (10,8)
		100	2,01 (14,2)
Функциональная КЭ пост. жест.	5	50	2,14 (21,6)
		21	1,92 (9,1)
Функциональная КЭ перем. жест.	10	11	1,98 (12,5)
		23	1,76
	5	13	1,76

Если изменение изгибающего момента по длине носит линейный характер, то достаточно одного КЭ переменной жесткости.

Для решения задачи НДС и долговечности статически неопределимой двутавровой балки, разработанные модифицированные КЭ с переменной жесткостью, в отличие от известных, позволяют учесть изменение геометрических характеристик по длине элемента, а также снизить размерность задачи МКЭ. Результаты решения задачи представлены в табл. 3.

Выводы. Несмотря на развитие аналитического аппарата, компьютерной техники, методов моделирования, поведение сложных конструкций вызывает определенные трудности, поэтому возможно применение нейросетевых технологий в синтезе с уже существующими программными комплексами.

Приведенный в статье алгоритм решения задачи прогнозирования долговечности с использованием нейросетевой модели определения вида активного ограничения и шага интегрирования, в отличие от других ал-

горитмов, позволяет получить решение задачи НДС и долговечности не только с заранее заданной точностью расчета, но и существенно повысить его эффективность.

Таблица 3
Результаты решения задачи

Номер двутаврового профиля	Тип активного ограничения	Начальные напряжения σ_0 , МПа	Шаг интегрирования Δt , лет	Долговечность t*, лет	Количество итераций n
10	1	85,50	0,129	1,455	12
10	1	97,10	0,138	1,306	10
12	1	89,93	0,141	1,435	11
12	0	78,07	0,999	1,233	2
14	1	87,49	0,148	1,508	11

Список литературы / References

1. Расторгуев Б.С. Обеспечение живучести зданий при особых динамических воздействиях / Б.С. Расторгуев // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2003. – №4. – С. 45–48.

Rastorguev, B.S. (2003), “Ensuring the survivability of buildings with special dynamic effects”, *Seismostoykoye Stroitelstvo. Bezopasnost Sooruzheniy*, no.4, pp. 45–48.

2. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании / Райзер В.Д. – М.: АСВ, 1998. – 304 с.

Rayzer, V.D. (1998), *Teoriya nadezhnosti v stroitelnom proektirovanii* [A Theory of Reliability in Building Engineering], ASV, Moscow, Russia.

3. Овчинников И. Г. Банк математических моделей коррозионного износа, применяемых для прогнозирования поведения металлоконструкций / И.Г. Овчинников, М.С. Дворкин, Х.А. Сабитов // Проблемы прочности материалов и конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами – Саратов: СГТУ, 1993. – С. 141–150.

Ovchinnikov, I.G., Dvorkin, M.S. and Sabitov, Kh.A. (1993), “Bank of mathematical models of corrosive wear, applied for forecasting of metallic constructions behavior”, *Problemy Prochnosti Materialov i Konstruktsyy, Vzaimodeystviyushchikh s Agressivnymi Sredami*, SGTU, pp. 141–150.

4. Зеленцов Д.Г. Балочный конечный элемент переменной жесткости для расчета конструкций, подверженных коррозионному износу / Д.Г. Зеленцов // Системні технології. – Дніпропетровськ, 2001. – Вип. 6(17). – С. 64–70.

Zelentsov, D.G. (2001), “Beam final element of variable inflexibility for the calculation of constructions subject to the corrosive wear”, *Systemni Tekhnologii*, Dnipropetrovsk, no. 6(17), pp. 64–70.

Мета. Розробка нових моделей процесу деформації кородуючих балочних конструкцій з геометричними характеристиками, що змінюються у процесі експлуатації, та ефективних чисельних алгоритмів рішення завдань напружено-деформованого стану (НДС) і довговічності таких конструкцій.

Методика. Проаналізовані причини, що призводять до аварійного руйнування багатоелементних металевих конструкцій. Розглянуті методи дослідження й розрахунку конструкцій з урахуванням дефектності матеріалу. Основу досліджень складає моделювання поведінки елементів балочних конструкцій, що піддаються дії квазістатичних, циклічних і випадкових навантажень, експлуатуються в агресивних умовах. Особлива увага приділена впливу виду деформації на корозійний знос елементів таких конструкцій і можливість їх безаварійної експлуатації.

Результати. З використанням нових моделей кородуючої поверхні побудований модифікований балочний кінцевий елемент зі змінною жорсткістю. Це дозволить урахувати зміну форми перерізу, викликану агресивним середовищем, понизити як розмірність задачі методу кінцевих елементів (МКЕ), так і розмірність системи диференціальних рівнянь (СДУ), що описують корозійний процес. Вирази для елементів матриці жорсткості таких кінцевих елементів (КЕ) не залежать від виду поперечного перерізу, якщо його можна представити у вигляді сукупності прямокутних фрагментів. Для підвищення ефективності обчислювального алгоритму та спрощення його логіки доцільно визначити вид активного обмеження до рішення задачі розрахунку довговічності. Пропонується використовувати дві нейронні мережі: для визначення виду обмеження (1-а нейронна мережа) та параметрів чисельного рішення СДУ для кожного з обмежень (2-а нейронна мережа).

На підставі аналізу чинників, що впливають як на вигляд активного обмеження, так і на точність рішення СДУ, вхідними параметрами мереж прийняті: номер прокатного профілю, швидкість корозії та початкове напруження. Вид обмеження визначається нейронною мережею з пороговою функцією активації вихідного елементу, раціональне значення параметра чисельного рішення – мережею з сигмоїдальною функцією активації. Навчання нейронних мереж здійснювалося за допомогою генетичного алгоритму та алгоритму зворотного поширення помилки.

Наукова новизна. Удосконалена модель кородуючої поверхні, на підставі якої побудована матриця жорсткості для модифікованого балочного КЕ змінної жорсткості. Побудований модифікований балочний КЕ зі змінною жорсткістю. Раціональні параметри чисельних процедур визначені із застосуванням нейронних мереж. Саме це дозволить отримати рішення з похибкою, що не перевищує гранично допустиму величину з мінімальними обчислювальними витратами.

Практична значимість. Підвищення ефективності рішення задач НДС і довговічності кородуючих балочних елементів металоконструкцій.

Ключові слова: *модель, корозійний знос, напруження, балочний кінцевий елемент, параметр пошкодження, нейронна мережа, міцність*

Purpose. To design new models of the deformation process of corrosive beam structural systems with variable geometry characteristics and effective numerical al-

gorithms to solve problems of their stress-strain state and longevity.

Methodology. Reasons resulting in the emergency destruction of multiple-element metal structures were analyzed. Research methods and design methods involving material defectiveness were considered. The ways to improve their efficiency were proposed based on the analysis. The simulation of beam structural components behavior affected by of quasistatic, cyclic, and random loads operating in an aggressive environment forms the basis of the research. The special attention was paid to the influence of different types of deformation on the corrosive wear of such structural components as well as the possibility of their safe exploitation.

Findings. Application of new models of corrosive surface allowed us to design the modified beam finite component with variable rigidity. It will allow us to take into account the change in section shape caused by an aggressive environment and to decrease both the problem order of modified finite element (MFE) and the order of differential equation system (DES) describing corrosive process. Expressions for rigidity matrix components such as finite elements (FE) cannot depend on cross-section type if it is possible to represent it as the total of rectangular fragments. To improve the efficiency of computational algorithm and simplify its logics, it is expedient to determine the type of active constraint before solving the problem of longevity computation. We propose to use two neural networks: to determine the constraint type (neural network 1), and parameters of DES numerical solution for each of the constraints (neural network 2).

Based on the analysis of the factors that affect both the type of active constraint and the accuracy of DES solution, we have assumed the following input network parameters: rolled section number, corrosion rate, and initial stress σ_0 .

The constraint type depends on the neural network with threshold function of output element activation. The rational value of numerical solution parameters depends on a network with sigmoid activation function.

Neural networks were controlled by the genetic algorithm and algorithm of back propagation of error.

Originality. The model of a corrosive surface has been improved. It was used for the development of rigidity matrix for modified variable-rigidity beam finite element. A modified variable-rigidity beam FE has been designed. The rational parameters of numerical procedures have been developed using neuron networks. This may help us to obtain the solution with an error being less than the maximum admissible value with minimum computational costs.

Practical value. The research contributes to the improvement of the efficiency of solving stress-strain state problems and determination of the longevity of corrosive beam metal structural systems.

Keywords: *model, corrosive wear, stress, beam finite element, damage parameter, neuron network, strength*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.В. Солодянкиним. Дата надходження рукопису 15.04.14.