

Зеленцов Дмитрий Гегемонович
Zelentsov Dmytriy Gegemonovitch

Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный
химико-технологический университет»
профессор, заведующий кафедрой
Professor, Head of Department
05.23.17 «Строительная механика»
E-Mail: dmyt_zel@mail.ru

Радуль Александр Анатольевич
Radul A.A.

Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный
химико-технологический университет»
Инженер/engineer

Ляшенко Оксана Анатольевна
Liashenko Oksana Anatolievna

Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный
химико-технологический университет»
Доцент/Docent

Овчинников Илья Игоревич
Ovchinnikov Igor Georgievich

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Доцент/docent
E-Mail: bridgeart@mail.ru

Овчинников Игорь Георгиевич
Ovchinnikov Igor Georgievich

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Профессор/professor
E-Mail: bridgesar@mail.ru

Нейросетевая модель расчета корродирующих пластин с вырезом

Neural network model for calculating corroding plates with cutout

Аннотация: Рассматривается модель нейронной сети для расчета корродирующей пластины с вырезом. Сравнение существующих моделей расчета с моделью нейронной сети показывает преимущества предлагаемого подхода. Приведен пример расчета коррозии пластины с вырезом

The Abstract: The article deals with a neural network model for calculating corroding plates with cutout. A comparison of existing calculation models to neural network model shows the advan-

tages of the offered approach. Numerical illustration of calculating of corroding plate with cutout is shown

Ключевые слова: Пластина, коррозионный износ, нейронные сети

Keywords: Plate, corrosive wear, neural networks

1. Введение

При расчете шарнирно-стержневых систем (ШСС), подверженных коррозионному износу, кроме коррозии в стержневых элементах конструкции, необходимо учитывать и коррозию в местах соединения стержней [1, 2, 3]. Известны различные способы соединения стержней в узлах ШСС, но наиболее распространенным является крепление стержней к соединительной пластине при помощи болтовых или заклепочных соединений. Это вызывает необходимость перехода от расчетной схемы корродирующего стержня при одноосном растяжении или сжатии к расчетной схеме плосконапряженной пластины, ослабленной круговыми вырезами. При этом, ввиду зависимости скорости коррозии от напряжений, толщина пластины не постоянна как по времени, так и по области.

В работе [4] предложен подход к построению модели корродирующей пластины с вырезом при помощи модифицированных треугольных конечных элементов переменной толщины. Несмотря на несомненную адекватность такой модели, ее построение представляет собой достаточно сложный в реализации процесс и требует вычислительных ресурсов, значительно превышающих те, которые необходимы для расчета стержневых элементов.

Известна имитационная модель [5], позволяющая исследовать локальный коррозионный процесс в местах соединения стержневых элементов, в которой влияние концентратора напряжений компенсируется введением концентратора скорости коррозии. В основе этой модели лежит гипотеза о том, что существует единственное значение скорости коррозии v ($v > v_0$), при котором напряжения достигают предельного значения в любой точке пластины без выреза (рис. 1а) за то же время, что и в окрестности выреза исследуемой пластины (рис. 1б). Проведена идентификация этой модели по параметру, а именно, по коэффициенту концентрации коррозии. Подтверждена возможность использования имитационной модели при исследовании коррозии в местах соединения ШСС.

К преимуществам данной имитационной модели следует отнести возможность получения аналитического решения задачи долговечности (без использования конечно-элементных процедур при расчетах напряженно-деформированного состояния и многочисленного решения систем дифференциальных уравнений, моделирующих коррозионный процесс в элементах конструкции).

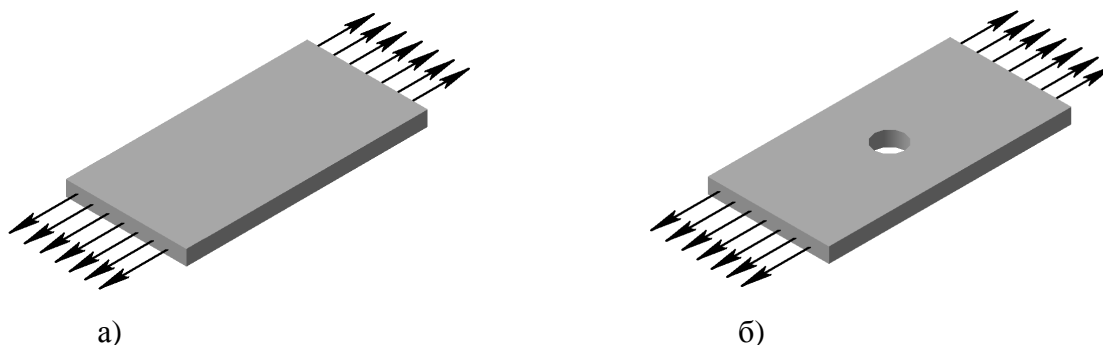


Рис. 1. Пластина без выреза (а) и с вырезом (б)

Таким образом, основная задача при использовании имитационной модели заключается в идентификации по параметру, а именно по коэффициенту концентрации коррозии f , где

$$f = \frac{v}{v_0}.$$

Очевидно, значение коэффициента концентрации коррозии f , при котором долговечность пластины без выреза будет такой же, как и пластины с вырезом, зависит от ряда факторов, таких как начальные значения толщины и напряжения в пластине, скорость коррозии и коэффициент влияния напряжений на скорость коррозии. В работе [5] предложено рассматривать коэффициент концентрации коррозии в виде полного полинома двух аргументов:

$$f = f(X_1, X_2) = A + B \cdot X_1 + C \cdot X_2 + D \cdot X_1^2 + E \cdot X_1 \cdot X_2 + F \cdot X_2^2; \quad (1)$$

где A, B, C, D, E и F – коэффициенты полинома, $X_1 = \frac{h_0}{v_0}$ – аргумент полинома, показывающий отношение начальной толщины пластины к начальной скорости коррозии; $X_2 = \frac{[\sigma]}{\sigma_0}$ – аргумент полинома, показывающий отношение предельного значения напряжения в пластине к его начальному значению в окрестности выреза.

Однако, такой подход не учитывает того, что коэффициент концентрации коррозии зависит сразу от нескольких параметров: скорости коррозии, начальных напряжений, толщины пластины и диаметра отверстия. Поскольку эта зависимость неявная, описать ее с помощью полинома второй степени весьма сложно. Поэтому, несмотря на очевидные достоинства имитационной модели, практическое применение формулы (1) ограничено тем, что погрешность решения задачи при различных параметрах конструкции и скорости коррозии может варьироваться в значительных пределах.

Авторами предлагается использовать искусственную нейронную сеть (ИНС) для определения коэффициента концентрации коррозии. Искусственная нейронная сеть в данной задаче способна лучше аппроксимировать зависимость коэффициента концентрации коррозии от параметров конструкции и агрессивной среды. Способность сети обобщать влияние различных факторов на долговечность конструкции позволит расширить пределы применимости имитационной модели расчета корродирующих пластин с вырезом.

2. Постановка задачи

Целью исследования было создание и обучение ИНС, способной на основании параметров конструкции (толщина пластины, диаметр отверстия, напряжения) и агрессивной среды (скорость коррозии) в начальный момент времени правильно выбрать коэффициент концентрации коррозии. Так как обучить ИНС можно только на ограниченном интервале измене-

ния входных параметров, для решения поставленной задачи скорость коррозии принималась равной $0,08 \leq v_0 \leq 0,12 \text{ см/год}$; толщина пластины $1,5 \leq h_0 \leq 2,5 \text{ см}$; диаметр отверстия $5 \leq d_0 \leq 15 \text{ см}$ и напряжения $400 \leq \sigma_0 \leq 800 \text{ кг/см}^2$.

3. Изложение основного материала исследования

Была выбрана ИНС прямого распространения сигнала с одним скрытым слоем. Экспериментально была определена оптимальная для данной задачи архитектура: четыре нейрона входящего слоя, пять нейронов скрытого слоя и один нейрон выходного слоя (рис. 2).

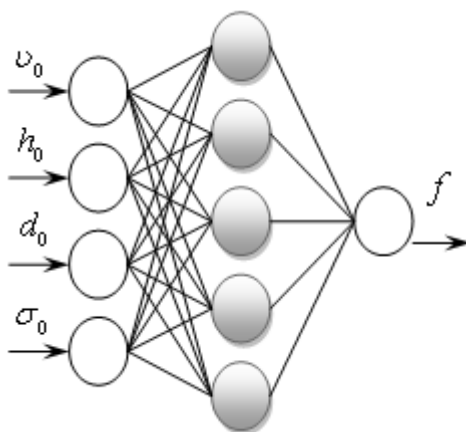


Рис. 2. Архитектура ИНС

Для обучения ИНС был получен массив образцов, представляющих собой сгенерированные случайным образом из заданных интервалов параметры конструкции и агрессивной среды и соответствующее им значения коэффициента концентрации коррозии f . Коэффициент концентрации коррозии определялся как отношение срока службы пластины, полученного по аналитической формуле (2) для пластины без выреза к сроку службы пластины с вырезом, полученного с помощью метода конечных элементов (МКЭ).

$$t^* = \frac{h_0}{v} \cdot \sigma_{eq0} \left[k \cdot \ln \frac{\sigma_{eq0} (1 + k \cdot \sigma)}{\sigma_{eq} (1 + k \cdot \sigma_0)} + \frac{\sigma_{eq} - \sigma_{eq0}}{\sigma_{eq} \cdot \sigma_{eq0}} \right] \quad (2)$$

Массив образцов был разделен на две части: одна для обучения ИНС, другая – для тестирования. Образцы из первой группы поочередно подавались на вход сети, вычислялось значение коэффициента концентрации коррозии и сравнивалось с эталонным значением. После чего весовые коэффициенты ИНС корректировались на величину ошибки методом обратного распространения ошибки. Обучение сети проводилось до тех пор, пока ошибка сети на тестовых образцах не уменьшилась до приемлемых значений.

В таблице 1 приведены значения коэффициентов концентрации коррозии, вычисленные по формуле (1) и с помощью ИНС.

Таблица 1

Сравнение различных подходов к решению задачи

№ п/п	v_0 , см/год	h_0 , см	d_0 , см	σ_0 , кг/см ²	$t_{МКЭ}^*$, лет	формула (1)		ИНС	
						t_1^* , лет	f	$t_{ИНС}^*$, лет	f
1	0,08	2,40	10,37	590	5,70	6,06 (5,94%)	2,496	5,74 (0,65%)	2,595
2	0,09	1,62	13,10	373	6,80	6,52 (-4,34%)	1,464	6,82 (0,25%)	1,616
3	0,12	1,81	7,11	594	3,02	3,05 (0,83%)	2,511	3,01 (-0,20%)	2,478
4	0,11	1,64	5,13	497	4,31	4,44 (3,01%)	1,972	4,27 (-0,96%)	1,892
5	0,10	2,38	10,18	474	6,88	7,62 (9,65%)	1,940	6,82 (-0,94%)	1,936

Как видно из таблицы 1, ИНС значительно лучше аппроксимирует коэффициент концентрации коррозии f , чем формула (1).

4. Выводы

Полученная нейросетевая модель значительно упрощает (по сравнению с МКЭ) решение задачи долговечности корродирующей пластины с вырезом, при этом точность получаемого решения выше, чем при использовании других подходов. Применение ИНС позволило значительно расширить пределы применимости имитационной модели, по сравнению с подходами, предложенными в других работах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наумова, Г.А. Расчеты на прочность сложных стержневых и трубопроводных конструкций / Г.А. Наумова, И.Г. Овчинников. – Саратов: СГТУ, 2000. – 227 с.
2. Наумова Г.А., Овчинников И.Г., Снарский С.В. Расчет трубопроводных конструкций с эксплуатационными повреждениями / Волгоград: Волгоград. Гос. Арх-строит ун-т, 2008. 184 с.
3. Радуль О.А. Несущая способность и оптимальное проектирование стержневых конструкций с учётом общей и локальной коррозии [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.17 / Радуль Оксана Анатольевна; ГВУЗ "Укр. гос. хим.-технол. ун-т". – Д., 2009. – 172 л.: рис., табл. – Библиогр.: л. 157-172.
4. Радуль О.А. Дослідження динаміки концентрації напружень у кородуючих пластинах із круговим вирізом // Тези доповідей 5 Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів "Наукові розробки молоді на сучасному етапі", 26-28 квітня 2006 року. Київ – КНУТД. – С. 114.
5. Радуль О.А. Імітаційне моделювання процесу корозії в плосконапружених пластинах із круговим вирізом / Д.Г. Зеленцов, О.А. Радуль // Вісник Сумського державного університету. Технічні науки. – 2008. – № 4. – С. 126–131.