В роботі розглянуто математичну модель корозійного зносу елементів хімічного обладнання при нечіткій інформації про параметри агресивного середовища. Швидкість корозії розглядається як інтервальна величина, що задана значенням лінгвістичної змінної. Використовуючи прямі експертні оцінки, пропонується розглядати її як нечітке число с заданою функцією належності, яке представлене у вигляді розкладання по α***-рівневим множинам***

Ключові слова: кородуючі конструкції, нечіткі параметри агресивного середовища, α***-рівневий принцип узагальнення***

В работе рассмотрена математическая модель коррозионного износа элементов химического оборудования при нечёткой информации о параметрах агрессивной среды. Скорость коррозии рассматривается как интервальная величина, заданная значением лингвистической переменной. Используя прямые экспертные оценки, предлагается рассматривать её как нечёткое число с заданной функцией принадлежности, которое представляется в виде разложения по α***-уровневым множествам***

Ключевые слова: корродирующие конструкции, нечёткие параметры агрессивной среды, α***-уровневый принцип обобщения***

УДК 004.9:004.8:004.032.26

НЕЧЁТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Л. И. Короткая
Кандидат технических наук, ассистент
Кафедра компьютерных технологий и высшей математики
Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет»
пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, Украина, 49005
E-mail: korliv@hotmail.com

1. Введение

Актуальность проблемы моделирования поведения сложных механических систем, в частности металлических конструкций, обусловлена широким использованием их в различных отраслях промышленности. Как правило, функционируют указанные системы в агрессивных внешних средах, которые вызывают коррозию металла. В результате происходят изменения геометрических и прочностных характеристик элементов корродирующих конструкций, которые влекут за собой преждевременный, а иногда и аварийный, выход их строя. Поэтому проблеме моделирования поведения корродирующих конструкций следует уделять значительное внимание ещё на стадии их проектирования.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Анализ литературных источников показал, что во всех известных работах параметр агрессивной среды – скорость коррозии, предполагался известным и не изменяющимся в процессе эксплуатации конструкции. Его определение в реальных ситуациях представляет собой сложную самостоятельную и пока не решённую задачу. Очевидно, что параметры агрессивной среды зависят от многих факторов (в том числе, от температуры, давления, насыщенности кислотосодержащими элементами), поэтому с трудом поддаются точному количественному описанию, и, как следствие, информация о них является нечёткой или неполной.

Известные традиционные подходы решения рассматриваемого класса задач – детерминированный и вероятностно-стохастический, предполагают либо наличие полной информации о природе коррозионного процесса, либо знание законов и параметров его распределения. В реальных ситуациях, такая информация отсутствует или имеет нечёткий характер. Постановщику задачи, как правило, известен интервал изменения скорости коррозии, границы которого определяются значением лингвистической переменной – степень агрессивности среды.

Следует отметить, что в работах, посвящённых прогнозированию долговечности корродирующих конструкций, предлагались различные математические модели коррозионного износа, описывающие влияние внешней среды. Большое их количество делает проблематичным построение единого подхода к решению указанного класса задач. Однако следует отметить, что рассматриваемые модели феноменологически подобны.

В качестве параметра, описывающего коррозионный износ, в этих моделях принимается глубина коррозионного поражения δ. В [1] показано, что большая их часть может быть заменена единственной моделью, которая, при правильном выборе её параметров может рассматриваться как обобщение нескольких моделей. В данной работе рассматривается модель коррозионного износа, которая впервые предложена В. М. Долинским:

$$\frac{d\delta}{dt} = v_0\left[1 + k \cdot \sigma_{eq}\right], \qquad (1)$$

где v_0 – скорость коррозии ненагруженного материала;

σ_{eq} – абсолютное значение эквивалентного напряжения;

t – прогнозируемая долговечность;

k – коэффициент, учитывающий влияние на скорость коррозии напряжённого состояния.

Отличительной особенностью работы является то, что информация о параметрах агрессивной среды (в частности скорости коррозии) является нечёткой и трудноформализуемой.

3. Постановка задачи прогнозирования долговечности конструкций

При постановке задачи в лучшем случае известно, что среда имеет ту или иную степень агрессивности, которую можно описать с помощью лингвистической переменной. Поскольку процесс коррозии настолько сложен и однозначно не определен, что не поддается точному количественному описанию, то использование лингвистической переменной («неагрессивная», «слабоагрессивная», «низкоагрессивная», «среднеагрессивная», «высокоагрессивная» и «сильноагрессивная») оказывается вполне уместным (рис. 1).

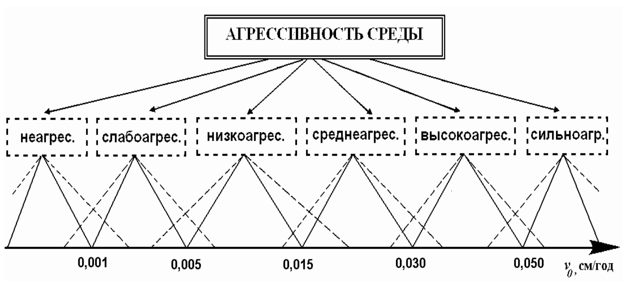


Рис. 1. Шкала условного разбиения на интервалы значений лингвистической переменной «степень агрессивности среды»

В данном случае скорость коррозии задаётся некоторым интервалом $v_0 \in [v_0^-; v_0^+]$, границы которого определяются значением лингвистической переменной – «степень агрессивности среды».

С использованием прямых экспертных оценок этот параметр может быть представлен как нечёткое число с заданной функцией принадлежности $\mu(v_0)$ (рис. 2а):

$$\tilde{v}_0 = \sum_{i=1}^{2\cdot N_\alpha - 1} \frac{\mu(v_0^i)}{v_0^i}, \qquad v_0^i \in [v_0^-; v_0^+], \tag{2}$$

$$\mu(v_0^i) = \begin{cases} 0, & v_0^i \notin [v_0^-; v_0^+]; \\ \cos\left(\pi \cdot \dfrac{v_{ср} - v_0^i}{v_0^+ - v_0^-}\right), & v_0^i \in [v_0^-; v_0^+], \end{cases} \tag{3}$$

где $v_{ср} = \dfrac{v_0^+ + v_0^-}{2}$.

В формуле (2) символ Σ обозначает дискретное нечёткое множество [2].

Скорость коррозии, как нечёткое число, представляется в виде разложения по α-уровневым множествам (далее операция фаззификации): $\tilde{v}_0 = \bigcup_{\alpha\in[0,1]} \left(v_0^-; v_0^+\right)$ и будет представляться кортежем $\tilde{v}_0$, количество элементов v_0^i которого $N_\alpha = 2\cdot\alpha - 1$ определяется количеством α-уровней.

В общем виде математическая постановка задачи прогнозирования долговечности при нечёткой информации о скорости коррозии может быть записана следующим образом:

$$t^* = \min_{i=\overline{1,N}} \{t_i\}. \tag{4}$$

Здесь t^* – определяемое значение долговечности; N – количество элементов в системе; t_i – долговечность i-го элемента конструкции, определяемого условиями прочности и устойчивости:

$$\begin{cases} [\sigma] - \sigma_i(t, \tilde{v}_0) = 0; & i = \overline{1, N} \\ \sigma_j^*(t, \tilde{v}_0) - \sigma_j(t, \tilde{v}_0) = 0; & j \in J \end{cases}, \tag{5}$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение;

$\sigma_i(t, \tilde{v}_0)$ – текущее напряжение в i-м элементе;

$\sigma_j^*(t, \tilde{v}_0)$ – критическое напряжение потери устойчивости;

$\tilde{v}_0$ – скорость коррозии при отсутствии напряжений;

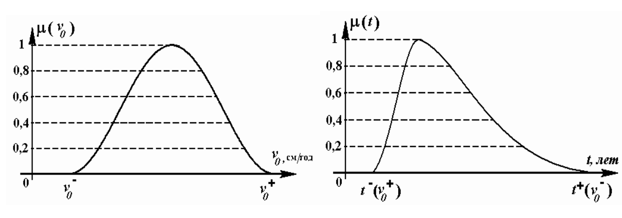
J – множество элементов, работающих на сжатие.

Таким образом, при решении задачи прогнозирования долговечности элементов корродирующей конструкции должны учитываться все значения кортежа $\tilde{v}_0$. Каждому элементу кортежа v_0^i будет соответствовать значение долговечности t^i, всё множество которых образует кортеж значений долговечности $\tilde{t}$ (рис. 2б). Он, в свою очередь, по определённому правилу преобразуется к чёткому числу $t = t_{деф}$, например, центроидным методом (операция дефуззификации) [2]:

$$t = t_{деф} = \frac{\sum_{i=1}^{2\cdot N_\alpha - 1} t^i \cdot \mu(t^i)}{\sum_{i=1}^{2\cdot N_\alpha - 1} \mu(t^i)}, \tag{6}$$

где $t^i \in [t^-; t^+]$.

Анализ получаемого значения долговечности позволяет сделать вывод о выполнении или нарушении ограничений (5) для данного вектора варьируемых параметров.



а) б)

Рис. 2. Функции принадлежности скорости коррозии (а) и долговечности (б)

Предлагаемый в работе подход, основанный на использовании α-уровневого принципа обобщения, позволяет рассматривать нечёткие модели задач прогнозирования долговечности. Следует отметить, что использование α-уровней, с одной стороны более адекватно описывает коррозионный процесс, а с другой – приводит к существенному увеличению вычислительных затрат. Последняя проблема достаточно полно освещена в [3].

4. Результаты численного эксперимента

Поведение корродирующей конструкции в агрессивной среде моделируется путём численного решения задачи Коши для системы дифференциальных уравнений вида (1), описывающих коррозионный износ.

Рассмотрим в качестве иллюстративного примера задачу прогнозирования долговечности пятистержневой статически неопределимой фермы (рис. 3), все стержни которой имеют кольцевое сечение с внешним $R=3{,}0$ см и внутренним $r=2{,}2$ см радиусами. Параметры конструкции: $L=150$ см; $[\sigma]=240{,}0$ МПа; $Q=10{,}0$ кН; $E=2{,}1\times10^5$ МПа. Скорость коррозии задана интервалом $v_0\in[0{,}07;0{,}13]$ см/год с функцией принадлежности вида (3), коэффициент влияния напряжений $k=0{,}003$ МПа$^{-1}$.

При выполнении операции фуззификации для получения кортежа скорости коррозии использовалось шесть α-уровней, количество элементов кортежа было равно одиннадцати.

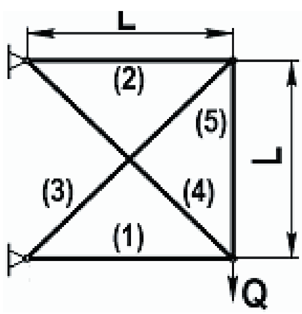


Рис. 3. Расчётная схема модельной конструкции

Результаты решения задачи прогнозирования долговечности элементов корродирующей конструкции при нечёткой информации о параметрах агрессивной среды представлены в табл. 1.

Для получения аналитического решения $t_{ан}$ были использованы формулы [1] для статически определимой конструкции.

Таблица 1

Результаты решения задачи прогнозирования долговечности

v_0, см/год	$t_{ан}$, лет	$\Delta t=0{,}125$ года		$\Delta t=0{,}25$ года	
		$t_{числ}$, лет	ε, %	$t_{числ}$, лет	ε, %
0,070	3,395	3,515	0,0353	3,609	0,0630
0,079	3,008	3,131	0,0408	3,225	0,0721
0,083	2,863	2,979	0,0405	3,066	0,0706
0,087	2,731	2,852	0,0441	2,925	0,0708
0,091	2,611	2,725	0,0436	2,806	0,0746
0,100	2,376	2,488	0,0470	2,569	0,0811
0,109	2,180	2,292	0,0513	2,360	0,0825
0,113	2,103	2,212	0,0517	2,285	0,0866
0,117	2,031	2,143	0,0550	2,221	0,0936
0,121	1,964	2,075	0,0569	2,155	0,0997
0,130	1,828	1,934	0,0578	2,001	0,0947

Долговечность для шага интегрирования $\Delta t=0{,}125$ года в виде нечёткого множества [2] можно записать:

$$\tilde{t}=\frac{0{,}0}{3{,}515}+\frac{0{,}2}{3{,}131}+\frac{0{,}4}{2{,}979}+\frac{0{,}6}{2{,}852}+\frac{0{,}8}{2{,}725}+\frac{1{,}0}{2{,}488}+$$
$$+\frac{0{,}8}{2{,}292}+\frac{0{,}6}{2{,}212}+\frac{0{,}4}{2{,}143}+\frac{0{,}2}{2{,}075}+\frac{0{,}0}{1{,}934}.$$

После дефуззификации нечёткого множества центроидным методом (6) будет получено значение долговечности $t_{деф}=2{,}526$ года. Степень принадлежности его нечёткому множеству составляет $\mu\left(t_{деф}\right)=0{,}968$.

Следует отметить, что при задании постоянного шага интегрирования системы дифференциальных уравнений, решение задачи прогнозирования долговечности для разных значений скорости коррозии получается с различной погрешностью ε. В этом случае можно утверждать, что численное решение $T_{числ}$, например, для $\Delta t=0{,}125$ года получено с относительной погрешностью не превышающей 5,8%.

5. Выводы

Подходы, использующие теорию нечётких множеств, позволяют существенно расширить область применения сложных систем за пределы применимости классической теории. Как известно, явление нельзя считать до конца хорошо понятым до тех пор, пока оно не описано посредством количественных характеристик. Математическая теория нечётких множеств позволяет описывать нечёткие понятия и знания, оперировать ими и делать нечёткие выводы. В настоящее время при моделировании поведения сложных систем использование нечётких множеств позволяет решать самые разнообразные задачи.

Литература

1. Зеленцов, Д.Г. Расчёт конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы [Текст] – Днепропетровск: УГХТУ, 2002. – 168 с.
2. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечётких множеств и нечёткую логику [Электронный ресурс] / Винницкий технический университет. Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book2/index.php.
3. Короткая, Л.И. Повышение эффективности вычислительных методов моделирования поведения корродирующих конструкций [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02 / Л.И. Короткая – Дн-ск, 2012. – 144 с.

4. Заде, Л.А. Нечёткие множества [Текст] / Лотфи Аскар Заде // Информация и управление. – 1965. – Т. 8, Вып. 3. – С. 338-353.
5. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и её применение к принятию приближённых решений [Текст] / Лотфи Аскар Заде. – М: Наука. – 1976. – 163 с.
6. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы [Текст]: пер. с польск. И.Д. Рудинского. / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия Телеком, 2006. – 452 с.: ил.
7. Бараненко, В.А. Применение теории нечетких множеств в проектировании ферм при минимизации объёма [Текст] / В.А. Бараненко., А.Ю. Войнаков / / "Lightweight structures in civil Engineering ", XII LSCE - 2006, Варшава, 1 декабря 2006. С. 22 - 24.
8. Заде, Л.А. Нечеткие множества в качестве основы для теории возможностей [Текст] / Лотфи Аскар Заде // Нечеткие множества и системы. – 1978. – т. l. – № 1. – P. 3-28.
9. Прикладные нечёткие системы [Текст]: пер. с япон. / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под. ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М: Мир, 1993. – 368 с.
10. Нечеткие теория систем и её приложения [Текст] / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно // Академическая пресса, Сан Диего, Калифорния. – 1992. С. 58.

УДК 681.5.015.4+681.5.015.87

IDENTIFICATION OF SHIP MODEL AND DISTURBANCE PARAMETERS USING SPECTRAL ANALYSIS

S. Ivanov
Ph. D.
Research institute of telecommunications, head of the research department*
E-mail: marinex@inbox.ru
V.Teut
Postgraduate student
Department of technical systems and processes in navigation
Kyiv state academy of water transport, named by hetman Petro Konashevich Sagajdachny
Frunze st., 9, Kyiv, Ukraine,04071
E-mail: vm.teut@yandex.ua
P. Oliynik
Ph. D.
Research institute of telecommunications, research associate*
E-mail: poleinik@ukr.net
*National technical university of Ukraine "Kyiv polytechnic institute"
Peremohy ave.,37, Kyiv, Ukraine,03056

В роботі представлена методика ідентифікації параметрів моделі судна і хвилювання моря. Для визначення параметрів моделі судна і статичного збурюючого моменту запропоновано використати спектральний аналіз сигналу кутової швидкості. Запропонована методика дозволяє визначити параметри моделі судна, а також амплітуду статичного збурення з точністю, достатньою для синтезу і налаштування регулятора автостернового

Ключові слова: ідентифікація, модель судна, хитавиця, спектральний аналіз, збурення

В работе представлена методика идентификации параметров модели судна и волнения моря. Для определения параметров модели судна и статического возмущающего момента предложено использовать спектральный анализ сигнала угловой скорости. Предложенная методика позволяет определить параметры модели судна, а также амплитуду статического возмущения с точностью, достаточной для синтеза и настройки регулятора авторулевого

Ключевые слова: идентификация, модель судна, качка, спектральный анализ, возмущение

1. Introduction

When developing adaptive autopilots, one of methods to ensure their adaptation to navigation conditions is the use of a ship model to tune autopilot's controller up.

According to classification given in [1], adaptive autopilots can be divided into two groups: autopilots that use data about hydrodynamic characteristics of the ship in different navigation conditions, obtained during sea trials, and autopilots that use standard model of a ship (on a calm sea as a